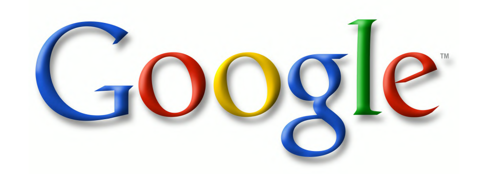


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

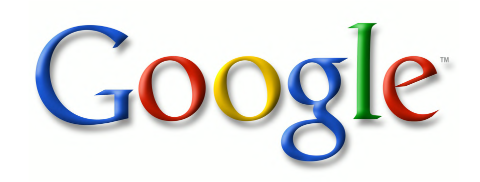
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

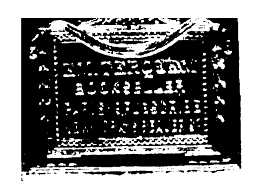
A 754,178 DUPL

M. H. ANDRÉ

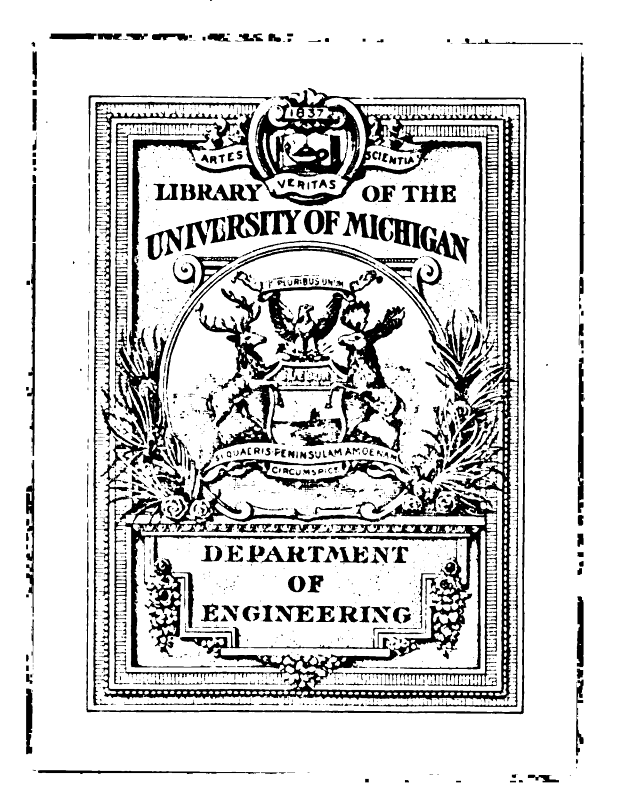
LES DIRIGEABLES

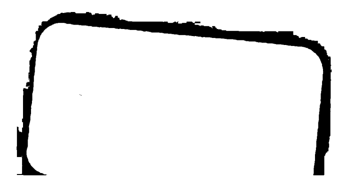
ÉTUDE COMPLÈTE DE LA DIRECTION DES BALLONS
DES TENTATIVES RÉALISÉES ET DES PROJETS NOUVEAUX

PARIS & LIÈGE
CH. BÉRANGER Editeur






1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



East Engin.
Library
TL
660
.A555

LES

DIRIGEABLES

LES

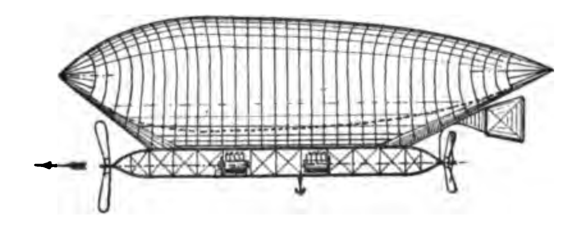
DIRIGEABLES

ÉTUDE COMPLÈTE DE LA DIRECTION DES BALLONS
DES TENTATIVES RÉALISÉES ET DES PROJETS NOUVEAUX

PAR

M. H. ANDRÉ
INGÉNIEUR
Membre de la Société des Ingénieurs Civils.

Ouvrage illustré de nombreuses figures



PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
SUCCESSEUR DE BAUDRY & Cie
15, RUE DES SAINTS-PÈRES
MÊME MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1902
Tous droits réservés

PRÉFACE.

Aucune découverte n'a excité la surprise, l'admiration, l'émotion universelles autant que celle des aérostats. Les navigateurs intrépides qui, les premiers osèrent s'élancer dans le vaste champ des airs provoquèrent un cri d'enthousiasme général. En effet, jamais l'orgueil humain n'avait rencontré de triomphe plus éclatant en apparence.

L'homme venait, disait-on, de conquérir les airs. Il pouvait à son gré régner en maître sur ces régions inexplorées et parcourir son nouvel en empire. On ne mettait pas en doute la possibilité de régulariser bientôt et de diriger la marche de ces nouveaux esquifs, et la navigation aérienne apparaissait déjà comme une création prochaine. Nous sommes arrivés à l'heure où l'on peut en parler.

Les livres sur la navigation aérienne, ce problème si séduisant et non encore entièrement résolu, sont nombreux et le lecteur est souvent embarrassé entre la masse d'ouvrages écrits sur ce sujet si intéressant.

En général, ce sont des travaux didactiques résumant l'historique et la description des aérostats célèbres, les récits des grands voyages, les tentatives de direction, en un mot tous les faits de l'histoire aéronautique.

Aucun d'eux ne traite exclusivement la *question de direction dans tous ses détails*.

Cette particularité fait donc différencier le présent volume de ses aînés.

Sans vouloir faire une œuvre de savant, son auteur s'est surtout attaché à rechercher le plus possible la

208353

technique du ballon dirigeable. Il n'a pas abordé d'autres questions telles que l'Aérostation pure et l'Aviation.

D'ailleurs l'étude de l'Aviation est extrêmement complexe: lorsqu'on veut l'aborder, on se heurte à des difficultés presque insurmontables.

Elle pourrait, à elle seule, former un volume plus gros que celui-ci.

En l'état actuel de nos connaissances, nous ne pensons pas que des recherches dans cette voie nous conduisent assez rapidement à des résultats féconds: n'a-t-on pas eu depuis déjà longtemps des preuves éclatantes de l'extrême difficulté de la question? Tout ce qui a été fait ou tenté dans ce sens n'a donné aucun résultat pratique.

Pour la construction rationnelle des dirigeables, l'auteur a cherché à faire intervenir les théories, les lois, les formules nécessaires permettant d'arriver — autant que possible sans avatars, et sans trop de tâtonnements, — à la réalisation du problème de la direction.

En général, beaucoup de conceptions relatives à ce problème sont frappées *d'incapacité native* par suite de l'ignorance d'abord théorique, puis pratique des inventeurs qui veulent aborder cette difficile question.

Les études de Giffard, de Dupuy-de-Lôme, des frères Tissandier, des savants officiers de Chalais dont les noms sont gravés sur le livre d'or de la science aérostatique, de M. de Bruignac, de M. R. Soreau, ont permis à l'auteur de reconnaître la grandeur du problème en même temps qu'elles en ont fortifié ses connaissances.

Des emprunts ont été faits dans la *Revue de l'Aéronautique*, de M. Hervé, dans l'*Aéronaute,* dans l'ouvrage de M. Banet-Rivet, et surtout dans les Mémoires si précis de M. Soreau, où la question est développée avec grande ampleur.

L'ouvrage est divisé en 3 parties bien distinctes : la première traite ce qui est relatif à l'aérostation proprement dite ; la seconde comprend les conditions du grand

problème, avec les lois d'Aérodynamique qui lui sont relatives, et la propulsion ; la troisième passe en revue tous les projets, essais et tentatives de direction en même temps qu'elle énumère les nouveaux projets.

C'est donc dans le but de mettre à jour certaines lois et certains essais qu'il est indispensable de connaître si l'on veut s'occuper de cette question, que ce livre a été publié.

Aussi nous voulons croire que ce modeste travail, sera bien accueilli et sera largement dépassé dans peu de temps par un ouvrage, beaucoup plus savant, fait par une personne plus autorisée ayant à son actif, l'expérience, la valeur technique, et... de la pratique en direction aérienne.

Paris, le 20 mars 1902.

H. André.

INTRODUCTION

Origines de l'Aéronautique

La conquête de cette masse d'air qui s'étend au-dessus de nos têtes, sorte de coupole immense dont nous ne pouvons atteindre le faîte a de tout temps fait l'ambition de l'humanité.

L'homme s'est demandé s'il ne lui serait pas possible d'imiter l'oiseau et de quitter la terre pour s'élever dans les airs.

Que de fables écrites sur le « vide » depuis cet Abaris qui, à en croire Diodore de Sicile, avait fait le tour de la terre sur une flèche d'or, présent d'Apollon, jusqu'au personnage des *Mille et un jours* qui ne voyageait qu'en char volant, depuis Dédale et son fils Icare s'enfuyant à tire d'aile de leur sombre prison, jusqu'au railleur et caustique Cyrano de Bergerac.

Entre Dédale et Cyrano que de charlatans, de rêveurs, de savants et d'inventeurs ont poursuivi de leurs études ou de leurs tentatives ce grand problème tant de fois séculaire !

Les légendes de l'antiquité abondent en récits qui prouvent que, s'inspirant de la nature, l'homme a d'abord cherché à imiter le vol des oiseaux.

Au IVe siècle avant l'ère chrétienne, Archytas de Tarente, savant pythagoricien, auquel on attribue l'invention de la vis, de la poulie et du cerf-volant, aurait, d'après Aulu-Gelle, construit une colombe en bois qui pouvait s'élever en l'air et s'y maintenir au moyen d'un mécanisme resté inconnu : « elle volait par le moyen d'un artifice mécanique et se maintenait ainsi suspendue par des vibrations, mais si elle venait à tomber elle ne se relevait plus ».

Des récits dignes de foi racontent qu'au XIe siècle un bénédictin anglais Olivier de Malmesbury, moitié moine et moitié sorcier, entreprit de voler en s'élançant du haut d'une tour à l'aide de deux ailes attachées à ses bras et à ses pieds. On dit qu'après avoir parcouru un espace de cent vingt pas à peine, il tomba à terre et se cassa les jambes. Il traîna dès lors une vie languissante trompant ses regrets avec cette illusion que, s'il avait eu la précaution d'attacher une queue à ses pieds il aurait réussi.

Au XVIe siècle, Léonard de Vinci a établi le premier que l'oiseau qui est plus lourd que l'air s'y soutient et avance « en rendant ce fluide plus dense là où il passe que là ou il ne passe pas ».

Certains croquis parvenus jusqu'à nous, montrent que Léonard de Vinci s'était occupé, comme Olivier de Malmesbury, de permettre à l'homme de voler à l'aide d'ailes convenablement fixées à son corps. On peut dire encore que c'est à Léonard de Vinci que l'on doit le premier hélicoptère. « Si, dit-il, cet instrument en forme de vis est bien fait et si on le tourne avec vitesse, une *telle vis fera son écrou dans l'air* et montera en haut ».

En 1680, Borelli publia des études remarquables par leur justesse, sur le vol des oiseaux, mais il ne songea pas à profiter de ses observations pour donner à l'homme des moyens de voler.

D'après une tradition incertaine, un physicien portugais aurait fait vers 1720 ou 1736 une expérience de vol

à Lisbonne en présence du roi Jean V, ce physicien Gusman se serait dit-on élevé dans un panier d'osier recouvert de papier.

Un brasier, dit Turgan, était allumé sous la machine, mais arrivé à la hauteur des toits, elle se heurta contre la corniche du Palais Royal, se brisa et tomba. Toutefois la chute eut lieu assez doucement pour que Gusman demeurât sain et sauf. Les spectateurs enthousiasmés lui donnèrent le titre d'Ovoador (homme volant).

A la même époque où Cyrano écrivait ses ingénieux romans, vers 1670, le P. Francesco Lana et Barthélemy Lourençao donnaient des solutions s'approchant de plus en plus de la réalité ; le P. Lana proposait d'enlever un bateau muni d'une voile par le moyen de quatre globes en cuivre très mince à l'intérieur desquels on aurait fait le vide ; Lourençao proposait de construire un navire aérien en forme d'oiseau et mû « par le moyen d'une pierre d'aimant et de la force attractive de l'ambre frotté ».

Il va sans dire que le bateau volant de Lana et le navire aérien de Lourençao (1) étaient des rêveries comme on en trouve tant dans les ouvrages de cette époque, où le fantastique tient trop souvent la place de la réalité scientifique.

Un autre religieux, le P. Galien d'Avignon a écrit en 1755 un petit livre sur l'art de naviguer dans les airs. A l'époque de la découverte des aérostats, quelques personnes prétendirent que les frères Montgolfier avaient puisé le principe de leur découverte dans le livre oublié du P. Galien. Les inventeurs dédaignèrent de combattre cette assertion.

L'ouvrage du P. Galien n'est en effet qu'un simple jeu

(1) L'Impératrice Elisabeth de Brunswich, dans sa correspondance, affirme paraît-il avoir vu le « *Navire volant de Lourençao*, s'élever triomphalement dans les airs, le 8 août 1709 ». Nous croyons difficilement à cette affirmation.

d'esprit : le moyen de naviguer dans les airs à l'aide d'un immense bâtiment cubique « plus considérable en volume que la ville d'Avignon » et rempli d'air puisé dans les hautes régions et par conséquent plus léger que l'air de la surface de la terre. Cette rêverie aurait peut-être été amusante si l'auteur ne voulait appuyer sur des chiffres et des calculs les fantaisies de son imagination.

Ainsi pas à pas, l'aérostation préparait son avènement et l'époque de l'invention des ballons n'était pas loin. Cependant le vol aérien avait toujours ses partisans.

En 1768, un mécanicien nommé Besnier, originaire de Sablé (Maine-et-Loire) expérimenta à La Cuibré et à Paris une machine à voler de son invention.

L'instrument était composé de quatre ailes ou pales de taffetas brisées en leur milieu et pouvant se plier et se mouvoir à l'aide d'une charnière, comme un volet de fenêtre. Le Besnier ne prétendait pas s'élever de terre, mais il assurait qu'en partant d'un milieu déjà élevé il pourrait se transporter d'un endroit à un autre de manière à franchir par exemple un bois ou une rivière.

Il paraît que Le Besnier fit usage de ses ailes avec un certain succès, et qu'un baladin qui lui en acheta une paire s'en servit heureusement à la foire de Guibray. Nous ne croyons aucunement à ces fantaisies qui n'ont aucune raison de vérité.

En 1772, l'abbé Desforges, chanoine à Etampes, fit publier, par la voie des journaux, l'annonce de l'expérience publique d'une voiture volante de son invention. Tout fier de sa découverte, le chanoine déclara qu'il ne tenterait l'expérience que s'il était assuré de toucher, en cas de succès, la somme de cent mille livres.

Une souscription fut ouverte et amena les fonds ; au jour indiqué on trouva le chanoine installé avec sa voiture sur la vieille tour de Guitel.

Le moment du départ venu, les ailes furent déployées

et mises en mouvement avec une grande vitesse. Mais elles semblaient tenir d'autant plus au sol qu'il les remuait davantage, et cette voiture volante qui devait faire 300 lieues par jour ne put même pas s'élever de terre. A propos de cette tentative avortée la Comédie italienne joua un vaudeville historique intitulé le *Cabriolet volant* qui fit courir tout Paris.

On parla beaucoup vers 1780 et 1783 d'un genre de bateau volant dont Blanchard faisait l'exhibition dans une maison de la rue Taranne. Blanchard travailla plusieurs années à son bateau volant, mais il n'en fit jamais aucune expérience sérieuse.

Il construisit aussi une machine volante, mais pour l'essayer il faisait usage d'un contrepoids de 28 livres qui glissait le long d'un mât. Pour voler, il aurait fallu supprimer le contrepoids : l'inventeur chercha pendant plusieurs années sans y réussir.

D'ailleurs à cette époque, en 1782, le savant géomètre Lalande, dans une lettre adressée au *Journal des savants*, démontra mathématiquement que pour s'élever et se soutenir dans les airs sans autre point d'appui que soi-même, il faudrait un appareil muni de deux ailes de 180 pieds de long et autant de large, c'est-à-dire ayant les dimensions des voiles d'un vaisseau, masse impossible à soutenir et à manœuvrer avec la force humaine.

On rit beaucoup, au commencement du siècle dernier, de la tentative du marquis de Bacqueville qui voulut traverser la Seine en volant, au moyen d'ailes énormes. Le marquis s'élança de son hôtel, situé sur le quai des Théatins, mais au-dessus du milieu de la Seine, des mouvements incertains le firent tomber sur un bateau de blanchisseuses, et il se fit une fracture à la cuisse.

Tel était l'état de la question quand survinrent les frères Montgolfier qui devaient donner la solution du problème et créer sinon le navire aérien, du moins la bouée atmosphérique : le ballon mobile à volonté dans le sens verti-

cal, et qui a rendu tous les services qu'il était possible de lui demander.

Ainsi, par tous ces travaux, par tous ces essais, par toutes ces recherches, le champ était ensemencé et forcément, fatalement l'heure était arrivée où l'aérostat devait apparaître.

Cette découverte était dans l'air, si l'on peut dire, et devait éclater. Aussi les Montgolfier firent-ils accomplir le premier pas à cette science rudimentaire en donnant à l'homme un coursier et un char pour visiter les plages aériennes et les profondeurs atmosphériques. On touchait à l'année 1783, l'aurore de la grande Révolution ébranlait sourdement les couches du vieux monde et l'on prévoyait déjà une ère nouvelle et féconde en progrès.

Nous ne rappellerons pas les expériences des frères Étienne, Joseph Montgolfier, dont la première eut lieu publiquement le 4 juin 1783.

Cette première ascension produisit une sensation immense et fut le point de départ de la science aérostatique.

Est-il besoin de dire que les deux fils d'un fabricant de papier étaient doués d'une grande intelligence, qu'ils étaient déjà des savants dans les sciences mécaniques ?

A l'appui de ces qualités, ils étaient méthodiques et doués de brillantes facultés d'inventeurs, c'est pourquoi la grande découverte qu'ils firent dans l'aérostation n'arrêta pas l'essor de leurs autres travaux.

Depuis les expériences d'Annonay, la science aérostatique a prospéré grâce aux hommes illustres tels que les Giffard, les Tissandier, les Yon, les Renard qui n'ont pas peu contribué à l'amener au dégré de perfection qu'elle atteint aujourd'hui.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

THÉORIE DU BALLON LIBRE [1]

La comparaison d'un ballon flottant librement dans l'atmosphère à une bulle de gaz abandonnée à elle-même est exacte si le ballon n'est pas monté, mais si le ballon est monté cette comparaison ne peut plus se faire. Dans ce dernier cas, c'est une, toujours une bulle, mais elle est douée de vie et de raison capable de lutter contre les fatalités brutales du monde extérieur.

Il importe avant d'étudier la marche des ballons, d'avoir une idée au moins approximative de la constitution du milieu dans lequel ils se meuvent, c'est-à-dire de l'atmosphère.

Il n'est nullement besoin ici de rappeler le principe d'Archimède sur lequel repose la théorie de l'aérosta-

(1) Cette théorie est tirée en partie du volume : L'*Aéronautique* de M. Banet-Rivet. Edit. H. May (1898).

tion; on sait aussi depuis Pascal, qu'à mesure qu'on s'élève au-dessus du sol la pression atmosphérique diminue.

Mariotte nous a appris aussi qu'à une même température, le poids spécifique d'un gaz, c'est-à-dire sa densité varie proportionnellement à la pression qu'il supporte (loi du célèbre physicien).

I. — D'après ces principes, si l'on suppose l'atmosphère parfaitement calme, les couches d'air qui la composent doivent se superposer les unes aux autres dans l'ordre décroissant de leurs densités; leur force élastique (ou la pression atmosphérique correspondante) diminuant à mesure que leur hauteur augmente.

C'est ce qui a lieu d'ordinaire, malgré les perturbations qui, à chaque instant, troublent l'océan aérien.

Mariotte a démontré le premier que si l'on suppose la température constante suivant une verticale, les pressions décroissent suivant cette verticale, en progression géométrique lorsque les hauteurs auxquelles elles correspondent croissent en progression arithmétique.

Halley, traduisant algébriquement cette loi (loi du dénivellement) a donné une formule approchée permettant de calculer l'altitude en fonction de la pression atmosphérique et réciproquement.

Cette formule :

$$z_n - z_0 = 18.400 \log \frac{h_0}{h_n} \qquad (1)$$

suppose l'air sec à 0° et dans laquelle z_n et z_0 désignent en mètres l'altitude de deux stations h_0 et h_n.

Si a_0 et a_n représentent les poids spécifiques de l'air à ces deux stations, on a, en supposant la température constante :

$$\frac{a_0}{a_n} = \frac{h_0}{h_n}$$

Et la formule précédente (1) devient

$$z_n - z_0 = 18.400 \log \frac{a_0}{a_n}$$

La table ci-dessous donne jusqu'à 3.000 mètres et à 40 mètres près les altitudes en fonction de la pression atmosphérique exprimée en millimètres de mercure.

Baromètre	Altitudes en M à ± 20 m. près.	Différence pour 1 m.	Baromètre	Altitudes en M à ± 20 m. près.	Différence pour 1 m.
760	0	10,5	635	1434	12,5
755	52	10,6	625	1561	12,8
745	159	10,7	615	1690	13
735	267	10,8	605	1821	13,2
725	376	11	595	1954	13,4
715	487	11,2	585	2089	13,6
705	599	11,3	575	2227	13,9
695	713	11,5	565	2367	14,1
685	829	11,6	555	2510	14,4
675	947	11,9	545	2655	14,7
665	1066	12	535	2802	14,9
655	1187	12,2	525	2954	15,2
645	1310	12,3	515	3108	15,5

Actuellement on admet, avec Sargey et Mendéléeff que la décroissance de la température est jusque vers 6.000 mètres environ, *proportionnelle à la diminution de la pression*, c'est-à-dire que t_n étant la température à la pression h_n, t_{n+1}, à la pression h_{n+1}, on a :

$$t_n - t_{n+1} = a\,(h_n - h_{n+1}) \qquad (2)$$

a étant une constante qui dépend évidemment de la latitude de la saison. A cette constante, on peut attribuer une valeur moyenne de :

$$a = \frac{1}{13,9}$$

La formule précédente (2) peut alors, dans les limites moyennnes, être remplacé par :

$$t_0 - = t_n\ 55\left(1 - \frac{h_n}{760}\right)$$

t_0 étant la température au niveau de la mer où la hauteur

moyenne du baromètre est de 760 millimètres, les températures étant d'ailleurs exprimées en degrés centigrades et les pressions en millimètres de mercure.

II. — Désignons par V le volume d'un ballon rempli d'un gaz quelconque, muni d'un appendice assez large pour permettre au fluide intérieur d'être toujours en équilibre avec l'air extérieur, désignons aussi par a le poids spécifique de l'air ambiant, et par d la densité du gaz aérostatique.

La *poussée de l'air* sur le ballon, d'après le principe d'Archimède est de Va.

Le poids du gaz qui le remplit est de :

$$Va \times d$$

par suite la force portative de ce gaz sera :

$$Va - Vad = Va\,(1 - d)$$

Cette force étant employée à soulever les agrès, la nacelle, les aéronautes, les machines diverses, la force portative devra être regardée comme à *très peu près* égale au poids total que le ballon peut soulever.

Si l'on appelle force ascensionnelle propre le poids total que le gaz du ballon peut soulever, cette force est en général donnée par la formule :

$$F = Va\,(1 - d)$$

qui montre que la force ascensionnelle propre d'un ballon à un instant donné : 1° est proportionnelle à son volume et au poids spécifique de l'air ambiant ; 2° elle est d'autant plus grande que le gaz aérostatique employé est léger.

Si nous faisons $V = 1$ dans la formule précédente on a :

$$\varphi = a\,(1 - d)$$

formule qui représente la force ascensionnelle de l'unité de volume d'un gaz aérostatique quelconque, ce qu'on

appelle sa force ascensionnelle propre à un instant donné.

Comme on est d'accord en aéronautique (pour rendre comparables les nombres exprimant la force ascensionnelle d'un aérostat ou d'un gaz aérostatique) de supposer qu'au niveau de la mer, où la pression est de 760, l'air est sec et à 0^{0} et a un poids spécifique très voisin de 0,0013, la force ascensionnelle propre d'un aérostat est alors donnée par la formule :

$$F_0 = V \times 0{,}0013 \, (1 - d)$$

la force ascensionnelle propre d'un gaz aérostatique étant :

$$\varphi_0 = 0{,}0013 \, (1 - d)$$

Considérons maintenant l'hydrogène pur employé actuellement, ce gaz possède une densité moyenne de :

$$d = 0{,}154$$

à peu près le $\frac{1}{7}$ de celle de l'air, sa force ascensionnelle propre sera :

$$\varphi = 0{,}0013 \, (1 - 0{,}154) = 0{,}0010998$$

c'est-à-dire que la force ascensionnelle d'un mètre cube d'hydrogène est de 1 k. 0998 environ.

Pour *le gaz d'éclairage*, dont la densité moyenne est de :

$$d = 0{,}465$$

On trouverait :

$$\varphi = 0{,}0013 \, (1 - 0{,}465) = 0{,}0006955$$

soit par mètre cube 0 k. 6955 environ.

Ces nombres ne sont pas rigoureux, ils dépendent du poids spécifique moyen de l'air. A Paris, ce poids spécifique moyen est de 0,001287.

On trouve alors :

Pour l'hydrogène : $\varphi_0 = 0{,}001088$;
Pour le gaz d'éclairage : $\varphi_0 = 0{,}0006885$.

Pratiquement, on peut donc prendre pour un mètre cube :

Hydrogène : 1 k. 100,
Gaz d'éclairage : 0 k. 700.

En appliquant ces chiffres à un petit ballon de 10 m. de diamètre (*ballon militaire normal*) employé en France, dont le tonnage est de 540 mc., on trouve :

Pour l'hydrogène : 540×1 k. $10 = 594$ k. ;
Pour le gaz d'éclairage : $540 \times 0{,}7 = 378$ k.

Le tableau suivant donne les chiffres dont on a besoin habituellement (petits ballons sphériques). La force ascensionnelle de l'hydrogène est prise égale à 1 k. 200 (maximum atteint).

Diamètre	Volume en MC.	Surface en m².	Kilogr. que peut soulever le gaz.	Poids moyen de l'enveloppe	Force ascensionnelle finale.
2	4,19	12,57	5,03	3,14	1,89
4	33,51	50,27	40,21	12,57	27,65
6	113,10	113,10	135,72	28,27	107,44
7	179,59	153,94	215,51	38,48	177,03
8	268,08	201,06	321,7	52,01	269,69
9	381,70	254,47	458,04	63,62	394,42
10	523,6	314,16	628,32	78,54	549,78
11	696,91	380,13	836,29	95,03	741,26
12	904,78	452,39	1085,74	113,10	972,84
13	1150,35	530,93	1380,42	132,73	1247,69
14m	1430	615,80	1716	152	1564

III. — Examinons maintenant l'influence de l'atmosphère sur la force ascensionnelle propre.

Il peut se présenter deux cas : 1° le ballon est plein ou complètement gonflé ; 2° il est flasque ou incomplètement gonflé.

1er Cas. — Le ballon est plein.

A mesure qu'il s'élève, il pénètre dans les couches

d'air de moins en moins denses dont la force élastique diminue de plus en plus. Dès lors son gaz s'échappe peu à peu par l'appendice. En supposant le principe d'Archimède applicable à un corps en mouvement, hypothèse que l'expérience justifie, la force ascensionnelle propre au niveau du sol sera :

$$F_o = Va_0 (1 - d)$$

a_0 étant le poids spécifique de l'air ambiant.

Pour une couche d'air de poids spécifique quelconque a_n, cette force ascensionnelle sera :

$$F_n = Va_n (1 - d)$$

Or comme $a_n < a_0$, il vient :

$$F_n < F_o$$

La force ascensionnelle propre d'un ballon plein diminue donc à mesure qu'il s'élève.

Elle serait nulle pour $a_n = o$.

2e Cas. — Le ballon est flasque.

Soit V_0 son volume au départ (V_0 étant plus petit que son volume réel V).

A cet instant, sa force ascensionnelle propre est :

$$F_o = V_0 a_0 (1 - d$$

Le ballon s'élevant, son gaz tend, en vertu de son expansibilité, à occuper un volume plus grand, de sorte que le ballon tend à se gonfler complètement, sans cependant que le poids de gaz aérostatique change. Appelons a_e le poids spécifique d'une couche d'air pour laquelle le ballon n'est pas encore complètement gonflé, V_e le volume du ballon dans cette couche, a_e étant plus petit que a_0, mais $V_e > V_0$. Pour cette couche, la force ascensionnelle propre sera :

$$F_e = V_e a_e (1 - d)$$

Or le poids de gaz n'ayant pas changé, on peut écrire :

$$V_e a_e d = V_0 a_0 d$$

Et par suite $V_e d_e = V_o a_o$

Ou alors $F_e = F_o$.

La force ascensionnelle d'un ballon flasque reste donc constante tant que ce ballon n'est pas complètement gonflé.

Cherchons le poids spécifique a_s de la couche d'air pour laquelle le ballon est complètement gonflé : à cet instant, sa force ascensionnelle propre est encore égale à F_o, d'un autre côté, elle est égale à Va_s (1 — d).

On a donc :

$$F_o = Va_s (1 - d)$$

En remplaçant F_o par sa valeur, il vient :

$$a_s = a_o \frac{{}^o\Lambda}{V}$$

Ce qui revient à dire qu'un ballon flasque est complètement gonflé lorsqu'il atteint une couche d'air dont le poids spécifique est une fraction de celui de la couche d'air du départ, égale à la fraction qui représente le remplissage du ballon.

Si par exemple un ballon est gonflé au $\frac{8}{10}$ à son départ, il sera complètement gonflé dans une couche d'air dont le poids spécifique sera les $\frac{8}{10}$ de l'air au niveau du sol.

Il va de soi qu'une fois le ballon complètement gonflé, tout se passe comme dans le cas d'un ballon plein, sa force ascentionnelle diminue de plus en plus à mesure qu'il s'élève.

IV. — Considérons, maintenant, un véritable aérostat complet, muni de tous ses détails, agrès filet, nacelle, etc.

1er Cas. — Supposons le ballon plein.

Soit V son volume, d la densité du gaz aérostati-

que, P son poids *mort irréductible* (poids total) et a le poids spécifique de l'air, au départ.

Equilibrons l'ensemble avec du lest d'un poids L, tel que le poids mort total P+L soit égal à la force ascensionnelle.

On a alors :

$$P + L = Va_0 (1 - d) \qquad (1)$$

Pour que l'aérostat puisse s'élever, il faut le débarrasser d'un peu de lest. Soit y le poids de ce lest.

La force ascensionnelle sera alors :

$$V_a (1 - d) - (P + L - y) = y$$

Il y aura donc rupture d'équilibre provoquée.

Mais à mesure qu'il va monter, sa force ascensionnelle va diminuer.

Or le poids emporté par le ballon $(P + L - y)$ restant le même, à un moment donné la force ascensionnelle finira par devenir nulle ; l'aérostat flottera.

Appelons a_n le poids spécifique de l'air dans cette zone d'équilibre. Pour cette zone, la force ascensionnelle est :

$$Va_n (1 - d)$$

Or puisqu'il y a équilibre, on peut écrire :

$$Va_n (1 - d) = P + L - y$$

Or l'équation (1) nous donne la valeur de P+L.

Remplaçant, il vient :

$$a_n = a_0 \frac{y}{V (1 - d)} \qquad (2)$$

Si le ballon est *monté* par des voyageurs, il faudra donc. si l'on veut s'élever davantage, jeter une nouvelle quantité de lest y_1. Pour une nouvelle zone d'équilibre, on aura pour valeur du poids spécifique :

$$a_{n+1} = a_n - \frac{y_1}{V (1 - d)}$$

En remplacement a^n par sa valeur (2) il vient :

$$a_{n+1} = a_0 - \frac{y + y_1}{V(1-d)}$$

Et si l'on continue à jeter de nouvelles quantités de lest $y_2, y_3 \ldots$ etc., on finira par atteindre une autre zone d'équilibre dont le poids spécifique (a_1, aura la valeur :

$$a_1 = a_0 - \frac{y + y_1 + y_2 + \ldots}{V(1-d)}$$

Et si l'on pose :

$$y + y_1 + y_2 + \ldots = \text{N},$$

(N désignant la somme des poids de lest projetés pendant l'ascension) on obtient la formule fondamentale :

$$a_1 = a_0 - \frac{\text{N}}{V(1-d)} \qquad (3)$$

Ce qui montre qu'on pourra s'élever aussi haut que possible, avec un ballon plein au départ, en projetant par petites portions un poids donné de lest, plutôt que de projeter tout d'un seul coup. La vitesse de l'ascension pourra donc être réglée à volonté.

Pour les *ballons-sondes* (non montés) on ne peut le faire, à moins d'avoir recours au procédé Kovanko, qui consiste en un sac de délestage se détachant automatiquement à une certaine altitude.

Quant à la formule (3) elle montre qu'un ballon plein s'élève d'autant plus haut que le poids de l'est projeté est considérable, car on a :

$$a_0 - a_1 = \frac{\text{N}}{V(1-d)}$$

Cette formule montre aussi que pour un même poids de l'est projeté, un ballon gonflé monte d'autant plus haut que son volume est petit, car plus V est petit, plus la fraction $\frac{\text{N}}{V(1-d)}$ et grande, est par suite plus a_1, est petit; la différence entre le poids spécifique de la zone de départ et celui de la zone d'arrivée étant inversement proportionnelle au volume du ballon.

De même que pour un égal poids de lest projeté et à volume égal, de deux aérostats pleins, celui qui est rempli du gaz le plus lourd est celui qui s'élève le plus haut. C'est ce qui a fait donner le nom de *paradoxe aérostatique* à cette particularité.

En effet, plus d est grand, plus $1 - d$ est petit et par suite la fraction $\frac{N}{V(1-d)}$ est grande. Ce qui s'explique autrement : la différence entre le poids spécifique de la zone de départ et celui de la zone d'équilibre étant inversement proportionnelle à la force ascensionnelle propre du gaz aérostatique car $(1 - d)$ est proportionnel à φ.

2e Cas. — Le ballon est flasque.

Prenons un ballon de volume V, ayant seulement un volume V_0 de gaz, c'est-à-dire que $V_0 < V$, soit y la rupture d'équilibre qui donne au ballon sa force ascensionnelle.

Tant que l'aérostat n'est pas complètement gonflé sa force ascensionnelle propre reste constante.

Le poids mort $P + L - y$ étant invariable il en sera de même de sa force ascensionnelle réelle.

Soumis à cette force, le ballon va monter jusqu'à une couche d'air de poids spécifique a_s pour laquelle il sera complètement gonflé.

A partir de cet instant, tout va se passer comme pour un ballon plein, dont le départ aurait lieu à partir de la couche de poids spécifique a_s. Sous l'influence de la force ascensionnelle y, l'aérostat tendra donc à s'arrêter dans une zone de poids spécifique a_{yo}, donnée par la formule (3), soit :

$$a_{yo} = a_s - \frac{y}{V(1-d)}$$

Si on veut aller plus haut, il faudra jeter un poids de lest N, et le poids spécifique de la zone d'équilibre sera évidemment :

$$a = a_s - \frac{N}{V(1-d)}$$

Ou en remplaçant a_s par sa valeur, il vient :

$$a_1 = a_0 \frac{V_0}{V} - \frac{N}{V(1-d)}$$

formule fondamentale qui montre qu'un ballon flasque s'élève d'autant plus haut qu'il est moins gonflé au départ, que son volume total est plus faible, que la projection de lest est plus considérable et que le gaz aérostatique est plus lourd.

V. — *Influences accidentelles.* — Considérons un ballon plein flottant dans sa zone d'équilibre, dont l'enveloppe soit imperméable, ce qui est admissible, un ballon bien construit ne devant pas perdre plus de 1 à 2 0/0 de son poids en 24 heures.

Soit :

a_1 le poids spécifique de la zone d'équilibre,
V le volume du ballon,
P le poids mort total,
L le poids de lest qui reste,

on a la relation :

$$P + L = Va_1 (1 - d).$$

L'aérostat est soumis à un grand nombre d'influences accidentelles : la pluie, la neige, la rosée, l'occultation du soleil, la diminution d'intensité des surfaces supérieures au ballon, l'augmentation d'intensité des surfaces inférieures, le passage du jour à la nuit. Ces influences se font sentir constamment, que le ballon monte, plane ou descende.

Examinons le cas d'une *surcharge* quelconque. Désignons par Δ cette surcharge, qui rompt l'équilibre entre la force asc. et le poids total $P + L + \Delta$.

Le ballon va donc descendre, sous l'influence d'une force descensionnelle égale à sa surcharge, car :

$$\Delta = Va_1 (1 - d) - (P + L).$$

Mais, à mesure qu'il descendra, il deviendra flasque, le poids du gaz qu'il contient ne pouvant faire équilibre aux pressions de plus en plus fortes que le ballon rencontre que sous un volume plus petit.

Soit V′ son volume pour une couche d'air de poids spécifique $a_8 > a_1$. Le poids du gaz étant constant, on a :

$$Va_8\, d = Va_1\, d$$

d'où :

$$V'a_8 = Va_1$$

et :

$$V'a_8\,(1 - d) = Va_1\,(1 - d).$$

Sa force descensionnelle restera donc égale à Δ. On peut donc dire que sous l'influence d'une surcharge un ballon prend toujours un mouvement descensionnel uniformément accéléré, ou qui du moins tend à le devenir et ne s'arrête qu'à terre.

Si l'on veut enrayer la descente, il faudra projeter un poids de lest au moins égal à Δ : le ballon rebondira alors jusqu'à sa zone primitive d'équilibre.

Chaque surcharge devra être combattue de la même façon ; le lest est donc le palladium de l'aéronaute.

Quant au mouvement de descente dû à la surcharge, il se produit parfois très rapidement ; on a alors cherché des moyens d'y obvier. Le ballonnet et l'hélice-lest sont souvent employés ; nous aurons occasion d'y revenir un peu plus loin.

Influence du soleil. — Le coup de soleil, comme on dit, ne change pas notablement la température de la zone d'équilibre et, par suite, le poids spécifique de cette zone. Mais il a une influence assez grande sur le gaz du ballon.

Cet effet du coup de soleil se trouve d'ailleurs augmenté par la vaporisation d'une petite couche d'eau, qui se dépose presque toujours sur l'enveloppe.

Désignons par t l'élévation de la température due au coup de soleil, et supposons que le gaz et l'air ambiant soient à o°. Par suite de la dilatation, il va s'échapper par l'appendice, et en même temps son poids spécifique qui était $a_1 d$ deviendra $\frac{a_1 d}{1 + \alpha t}$, α désignant le coefficient de dilatation des gaz.

Le poids du gaz qui est dans le ballon et le remplit, au lieu d'être $Va_1 d$, ne sera plus que $\frac{Va_1 d}{1 + \alpha t}$.

La force ascensionnelle qui était $Va_1 (1 - d)$ deviendra alors :

$$Va_1 - \frac{Va_1 d}{1 + \alpha t} = Va_1 \left(1 - \frac{d}{1 + \alpha t}\right).$$

L'équilibre est rompu, car d devient $\frac{d}{1 + \alpha t}$, et comme $Va_1 \left(1 - \frac{d}{1 + \alpha t}\right) > Va_1 (1 - d)$, le ballon montera.

Mais puisque le ballon était plein au moment de l'ascension, il restera plein pendant la durée de cette ascension, car les couches d'air sont de moins en moins denses. Sa force ascensionnelle diminuera et finira par s'annuler.

Si a_8 est le poids de la nouvelle zone d'équilibre, la condition d'équilibre :

$$Va_8 \left(1 + \frac{d}{1 + \alpha t}\right) = P + L$$

donnera, en remplaçant P + L par sa valeur, la relation appurhée :

$$a_8 = a_1 \left(1 - \frac{d\alpha t}{1 + \alpha t}\right),$$

qui montre que a_8 est indépendant de V et d'autant plus faible que a_1 est plus petit, et que d est plus grand, ainsi que t.

On peut donc dire qu'un coup de soleil fait monter le

ballon comme une projection de lest, et la hauteur de la zone d'équilibre atteinte, indépendante du volume du ballon, est d'autant plus grande que le gaz aérostatique est plus lourd.

Ce théorème s'applique aussi bien à toutes les autres influences qui tendent à élever la température du gaz intérieur.

Le coup de soleil et les influences analogues remplacent donc un délestage. Mais l'occultation du ballon, c'est-à-dire sa pénétration dans des couches plus froides, produit une surcharge.

Les influences accidentelles que nous venons de signaler doivent donc, en général, être regardées comme des ennemies du ballon, car elles occasionnent souvent des pertes de gaz. Ainsi s'explique la difficulté qu'éprouvent encore actuellement les aéronautes à stationner assez longtemps dans les airs, et on se rend facilement compte que des voyages de 24 heures et plus demandent de la part des aéronautes une certaine science et une certaine habitude des ascensions.

VI. — *Effet du coup de soupape.* — Lorsque l'on ouvre la soupape pendant un instant, une certaine quantité de gaz s'échappe.

Soit v la diminution de volume éprouvée par le ballon. Soit P son poids mort, L la provision de lest, et a_1 le poids spécifique de la zone d'équilibre.

La force ascensionnelle devient alors :

$$(V - v)\, a_1\, (1 - d),$$

mais son poids total $P + L = Va_1\,(1 - d)$ l'emporte sur cette force et le ballon descend sous l'influence d'une force descensionnelle :

$$f = P + L - (V - v)\, a_1\, (1 - d).$$

Remplaçant $P + L$ par sa valeur, il vient :

$$f = va_1\, (1 - d).$$

Mais s'il y a surcharge, à mesure que le ballon descend, il devient flasque, le poids de gaz restant toujours le même.

Sa force descensionnelle f restera donc constante pendant tout le temps de la descente, et le ballon tendra à prendre un mouvement descensionnel uniformément accéléré pour ne s'arrêter qu'à terre.

Si le coup de soupape est donné par une main habituée aux ascensions, le poids de gaz f sera très petit, et alors v sera aussi petit.

Mais si une surcharge intervient, la force descensionnelle peut devenir grande, il faut alors jeter du lest. Mais si, à la suite de cette projection de lest, le ballon remonte jusqu'à sa zone de départ, il y arrivera à l'état de ballon flasque, car son volume, au lieu d'être V, ne sera plus que V — v. Il pourra se faire qu'il dépasse sa zone de départ, pour ne s'arrêter qu'à une zone d'équilibre plus élevée.

Si y est le poids de lest projeté, le poids spécifique de cette zone sera, en appliquant la formule :

$$a_s = a_0 \frac{V_0}{V} \text{ (donnée précédemment)}$$

$$a_1' = a_1 \frac{V - v}{V} - \frac{y}{V(1 - d)}.$$

Il pourra arriver que le ballon rebondisse à chaque coup de soupape, à une hauteur plus grande que celle dont il est parti. C'est à l'aéronaute à se servir de l'ancre ou du guide-rope pour l'atterrissage.

Le rôle de l'ancre se comprend de suite ; celui du guide-rope est double : 1° la partie qui touche le sol allège le ballon et lui permet de remonter légèrement si la chute est trop brusque ; 2° le frottement qu'il développe dans l'air diminue la vitesse du ballon.

Les fuites de gaz inévitables déterminent souvent un effet identique au coup de soupape et peuvent se combattre de la même façon, par le lest.

Moyens de combattre les ruptures d'équilibre. — On a donc cherché à combattre les ruptures d'équilibre qui, souvent, sont inattendues et ne viennent pas ni du ballon, ni de son conducteur : l'aéronaute.

Meusnier, dès 1784, avait proposé, pour supprimer les pertes de gaz et de lest, l'emploi de ce que l'on peut appeler le lest d'air.

Ce savant officier avait conçu un ballon formé d'une double enveloppe : l'intérieure enveloppe imperméable vernissée, très légère, en soie ; puis une enveloppe extérieure, dite de force, en toile forte inextensible, imperméable à l'air comprimé. Il y avait donc entre les deux enveloppes une sorte de chambre à air. Avec ce système il n'y avait plus de perte de gaz et le lest devenait inutile, l'air extérieur servant de lest.

Mais l'invention qui, à première vue, était remarquable, donnait lieu à une exécution compliquée. Les frères Robert simplifièrent cette invention en remplaçant la double enveloppe par un petit ballonnet compensateur en toile forte, contenu dans le grand ballon, et dans lequel on comprimait de l'air à l'aide d'une pompe installée dans la nacelle. Ils essayèrent de s'assurer des avantages du ballonnet dans une ascension faite à Saint-Cloud, le 15 juillet 1784, avec un ballon ellipsoïdal dont il sera parlé plus loin, dans le chapitre des tentatives de direction.

Malheureusement le ballonnet se détacha, boucha l'orifice du ballon et l'essai ne fut pas concluant.

Le ballonnet de Meusnier fut perfectionné par le colonel Renard, qui a montré que la pompe était indipensable, surtout pour des ballons dirigeables.

L'hélice-l'est, dont l'idée est due à Van Hecke, qui a été aussi perfectionnée par le colonel Renard, a donné d'assez bons résultats.

C'est une hélice de sustentation, que l'on fait tourner de la nacelle, d'un côté ou de l'autre, suivant que l'on

veut monter ou descendre. Ainsi, avec une hélice de 2 m. 50, à 100 tours par minute, M. Mallet, l'aéronaute-constructeur bien connu, a pu obtenir un mouvement ascensionnel de 100 mètres par minute.

Mais elle est fort peu employée à cause de la force qu'elle demande.

Ces détails ne font peut-être pas partie de la locomotion aérienne, mais il est intéressant de les connaître.

En ce qui concerne les dirigeables, pour obtenir une sustentation dans l'air, un peu prolongée, le problème se complique davantage, car la vitesse de translation entre en ligne de compte ainsi que les poids et les conditions des résistances à l'avancement.

Jusqu'alors cette question ne peut être qu'effleurée, la condition de la stabilité étant nécessaire avant tout.

CHAPITRE II

CONSTRUCTION D'UN AÉROSTAT

Depuis les origines de l'aéronautique, l'enveloppe d'un ballon ordinaire, monté ou non, a la forme sphérique ; s'il s'agit d'un dirigeable, cette forme est allongée en fuseau, symétrique ou dissymétrique.

I. — *Ballon ordinaire sphérique.* — Pour les ballons ordinaires, la sphère présente les avantages suivants : minimum de surface et par suite de poids, maximum de résistance pour une épaisseur donnée de l'enveloppe, construction facile de l'enveloppe et du filet, gonflement plus aisé et stabilité de route plus grande.

Cherchons à determiner le volume à donner au ballon, plein ou flasque, pour qu'il puisse arriver à une hauteur déterminée.

1er Cas. — Le ballon est plein.

La formule écrite au premier chapitre:

$$z_n - z_0 = 18{,}400 \log \frac{a_0}{a_n} \ (1)$$

permet de calculer le poids spécifique a_1 de la zone d'équilibre qui correspond à une hauteur donnée z, car elle donne immédiatement :

$$\log a_1 = \log a_0 - \frac{z}{18400}.$$

Si on exprime que le ballon doit flotter dans la zone de poids spécifique a_1, on aura le volume V cherché car :

$$V a_1 (1 - d) = P.$$

D'où :

$$V = \frac{P}{a_1 (1 - d)}.$$

P et d désignent le poids mort total et la densité du gaz aérostatique.

Appelons R le rayon du ballon, le volume peut s'écrire :

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

D'où :

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{P}{a_1 (1 - d)} \qquad (a)$$

ce qui permet de calculer R et qui donne :

$$R = \sqrt[3]{\frac{3P}{4\pi a_1 (1 - d)}}.$$

Mais le poids P est le poids mort total de l'ensemble (étoffe, filet, nacelle, etc.) ; ce calcul ne peut donc pas être appliqué aux ballons-sondes.

2e Cas. — Le ballon est flasque.

Au premier abord, le problème semble plus simple, car il suffit de ne remplir le ballon, au départ, que dans le rapport :

$$\frac{V_0}{V} = \frac{a_1}{a_0}$$

pour être sûr d'atteindre la zone d'équilibre voulue.

Mais il faut qu'au départ la force ascensionnelle soit suffisante, c'est-à-dire que :

$$V_0 a_0 (1 - d) > P.$$

En remplaçant V_0 par sa valeur (proportion précédente) il vient :

$$Va_1 (1 - d) > P$$

ou :

$$\frac{4}{3} \pi R^3 a_1 (1 - d) > P$$

ou bien alors :

$$\frac{4}{3} \pi R^3 > \frac{P}{a_1 (1 - d)} \qquad (b)$$

qui prête lieu aux mêmes remarques que la résolution de l'équation (a) précédente.

Principales parties d'un aérostat ordinaire

Les principales parties d'un ballon ordinaire sont : 1° l'*enveloppe ou ballon proprement dit*, avec sa soupape, son appendice ou manche, 2° le filet, qui aboutit au *cercle*, 3° la nacelle, qui est suspendue à ce dernier, 4° les engins nécessaires à la montée, à la sustentation et à la descente (lest, ancre, guide-rope, etc.).

Passons un peu en revue ces différentes parties.

1° *Enveloppe*. — On emploie pour faire l'enveloppe des étoffes un peu spéciales : la soie ou taffetas, le ponghée ou soie de Chine ; ensuite la toile de lin, le tissu de coton (percale ou cretonne) ; puis, pour les ballons-sondes, la baudruche ou une soie fine particulière.

Le ponghée a une grande résistance, c'est actuellement le plus employé car au dynamomètre, il présente une résistance d'au moins 800 kilog. par mètre de longueur suivant la trame. Mais à cause des coutures on ne peut guère compter que sur 400 kilog. de résistance.

Cette question de résistance, est très importante à cause de la surpression intérieure qui s'exerce sur le

sommet d'un ballon, dont la valeur est donnée par la formule :

$$P = z\varphi$$

z étant la hauteur, φ la force asc. du gaz aérostatique dans la couche d'air où le ballon se trouve.

La pression est donc proportionnelle à la hauteur et à la force ascentionnelle du gaz.

On est arrivé à montrer que la tension de l'étoffe d'un ballon sphérique est à peu près proportionnelle au carré du rayon et à force ascentionnelle propre du gaz aérostatique.

Ainsi :

$$T = R^2\varphi_0.$$

D'où :

$$R = \sqrt{\frac{T}{\varphi_0}}$$

qui montre que le plus grand rayon que pratiquement on puisse donner à un ballon avec une étoffe donnée est à peu près proportionnel à la racine carrée de sa résistance et inversement proportionnel à la racine carrée de la force ascentionnelle propre du gaz aérostatique.

Dans la pratique, on est très prudent en ne faisant travailler l'étoffe qu'au $\frac{1}{5}$ de sa rupture.

Ainsi, pour déterminer le rayon d'un ballon devant être gonflé à l'hydrogène, on prend la formule :

$$R = \sqrt{\frac{0.080}{0,001}} = 9 \text{ mètres environ}$$

ce qui correspond à environ 2.900 mètres cubes.

Et même si l'on tient compte du surcroît de pression dû à l'appendice, on ne devra pas dépasser 8 mètres, ce qui donne 2100 m³, à peu près.

Pour les gros tonnages, il faudra se servir d'une double ou triple enveloppe.

La construction de l'enveloppe n'est pas très facile,

car il s'agit de construire une sphère, avec des feuilles d'étoffe planes. Théoriquement le problème est insoluble, car on ne peut jamais, en déformant une sphère, l'appliquer exactement sur un plan.

Ce problème présente plusieurs solutions, mais le procédé qui permet d'assembler et de coller les morceaux de la façon la plus simple, est la *méthode dite des fuseaux* employée dans la construction des globes terrestres. Voici l'explication de cette méthode :

Supposons la sphère coupée par un nombre infini de plans horizontaux perpendiculaires à son axe vertical ; et remplaçons les circonférences obtenues par un polygone régulier circonscrit, d'un nombre quelconque de côtés *n*. Il est bien certain que tous ces polygones réguliers engendreront une surface un peu plus grande que celle de la sphère, et qui en différera d'autant moins que *n* sera grand.

Soit P_1 A P_2 un des méridiens de la sphère (fig. 1), sur lesquels s'appuient les côtés des polygones réguliers ainsi définis.

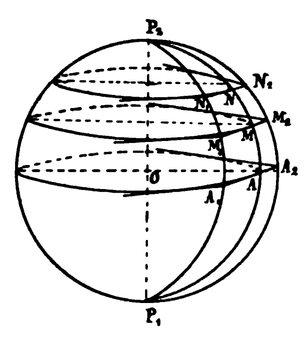


Fig. 1.

En ce qui concerne ce méridien P_1 A P_2, tous les côtés correspondants M_1 M_2, N_1 N_2, A_1 A_2 ont la même direction puisque ce sont des droites horizontales : leur ensemble forme donc une portion de surface cylindrique droite, à base circulaire, limitée par deux courbes

planes. Ces courbes étant les intersections de cette surface par deux plans menés par l'axe P_1 O P_2 sont nécessairement des ellipses, situées dans des plans verticaux dont le petit axe est le diamètre vertical P_1 O P_2 de la sphère, leur grand axe étant le rayon du polygone circonscrit à l'équateur de cette surface. La sphère sera ainsi remplacée par n portions de surfaces cylindriques telles que la surface P_1 A_1 A_2 P_2 auxquelles on donne le nom de fuseaux ou côtes, et dont les lignes de séparation sont des arcs d'ellipse dont l'excentricité sera d'autant plus faible que le nombre n des côtés des polygones circonscrits sera plus grand.

Pour obtenir la forme d'un fuseau, il faut le supposer développé et appliqué sur un plan, ce qui est possible. Le calcul montre que les deux courbes qui limitent le fuseau sont alors des arcs de cosinusoïde, symétriques l'un de l'autre par rapport à sa ligne médiane ou axe qui n'est que la moitié du méridien P_1 P_2 : la base du fuseau AA_2 étant un arc de l'équateur égal à la neuvième partie de sa longueur.

L'équation de cette cosinusoïde est d'ailleurs :

$$y = R \operatorname{tg} \alpha \cos x$$

R étant le rayon du ballon, α le demi-angle du fuseau, de sorte que

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2n}$$

les axes des y et des x correspondant recpectivement à l'équateur et au méridien développés, l'angle x étant la latitude de l'abscisse, dont la valeur est :

$$\frac{3\pi\ R}{360}\,x$$

Les formules :

$$S = 4\,n \operatorname{tg} \alpha$$

Et :

$$V = \frac{4}{3}\,n \operatorname{tg} \alpha$$

donnent la surface et le volume du sphéroïde ainsi obtenu, la longueur de l'arc de cosinusoïde étant donnée par la formule approchée :

$$l = \pi R \left(1 + \frac{1}{4} \mathrm{tg}^2 \alpha - \frac{3}{64} \mathrm{tg}^4 \alpha\right)$$

Le fuseau se construit par points, et c'est assez simple. Si l'on veut par exemple obtenir 20 points, ce qui pratiquement est suffisant, il suffit de déterminer 10 points de la moitié de la courbe, les 10 autres étant symétriques.

On calculera d'abord les abscisses qui correspondent par exemple aux valeurs de l'angle x

$$0^0,\ 9^0,\ 18^0 \ldots\ 90^0$$

soit :

$$\frac{0{,}2\pi\ R}{360} \times 9,\ \frac{2\pi\ R}{360} \times 18 \ldots\ \frac{2\ \pi R}{360} \times 90$$

et l'on cherchera les valeurs correspondantes des ordonnées à l'aide de tables trigonométriques, soit :

$$0{,}393,\ 0{,}393 \cos 9^0,\ 0{,}393 \cos 18^0 \ldots$$

Puis sur un patron en papier de 10 mètres environ, on

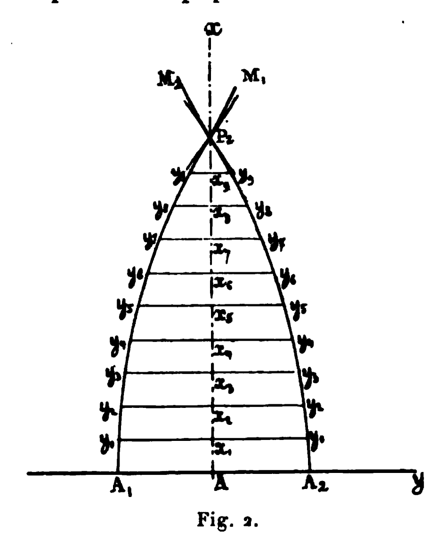


Fig. 2.

tracera deux perpendiculaires Ax et Ay (fig. 2) qui

correspondent aux axes des x et des y. On portera ensuite sur l'axe des x, à l'aide du compas, 10 longueurs

Ax, x, x_2 x_3.... x_9 P_2 égales chacune à

$$\frac{2\pi R}{360} \times 9 = 0,942$$

et correspondantes aux abscisses calculées. En menant des parallèles par les points de division obtenus, puis avec des ouvertures de compas

$$A\ A_2,\ x_1\ y_1,\ x_2 y_2\ ..\ x_9 y_9$$

égales aux valeurs successives trouvées pour les y on tracera des arcs de cercle qui couperont ces parallèles, à droite et à gauche de l'axe des x, en des points

$$y_1,\ y_2,\ y_3 \ldots.\ y_9$$

qui correspondent exactement aux deux courbes qui limitent la moitié supérieure du fuseau. En traçant la courbe par ces points, on aura le patron d'un demi-fuseau. L'autre moitié se taillera avec la première.

Dans la pratique, on agit souvent ainsi :

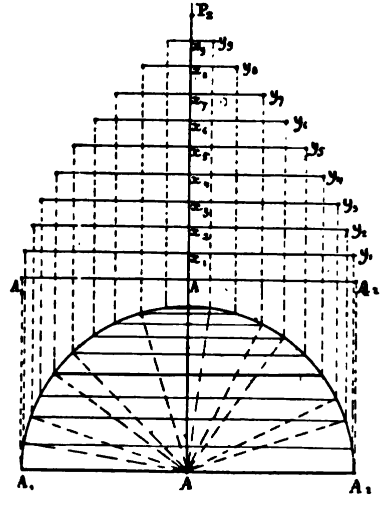


Fig. 3.

On trace une demi-circonférence dont le rayon est le $\frac{1}{10}$ par exemple de la base du fuseau, fig. 3 ; on divise

cette demi-circonférence en 20 parties par exemple et on trace les rayons, puis, par tous les points de division, on fait passer des parallèles au diamètre AA_1.

Les points obtenus sont ensuite projetés sur 10 parallèles équidistantes tracées en dehors de la figure, pour plus de commodité.

Il est bien évident que les parallèles

$$y_1 y_1, y_2 y_2, y_3 y_3 \ldots$$

ainsi menées, sont proportionnelles aux cosinus des angles que font les rayons menés du centre A contre la base A_1A_2 de la demi-circonférence décrite et par suite donnent les longueurs relatives de 10 diamètres de la moitié supérieure du fuseau.

En général, on ne taille pas un fuseau d'un seul morceau, on l'établit en trois ou quatre fragments et il faut autant de patrons que de fragments.

Puis les fuseaux sont cousus deux par deux et quatre par quatre. Les coutures sont rabattues pour empêcher les fuites de gaz, puis elles sont recouvertes d'une bande de la même étoffe fixée avec un vernis spécial.

Le ballon ainsi obtenu peut être considéré comme une sphère, car son tonnage est sensiblement le même.

Ainsi pour un ballon rigoureusement sphérique de 904 m³ 781 de capacité, on obtient, par le procédé que nous venons d'examiner, un ballon de 905 m³ 472, la différence, comme on le voit, est très faible.

Cette dernière méthode peut s'appliquer à un ballon de forme quelconque, pourvu que cette forme soit celle d'une surface de révolution autour de son axe vertical.

Le moyen le plus communément employé pour éviter les pertes de gaz par exosmose est le vernissage de l'enveloppe. Ce vernissage s'exécute à l'intérieur et à l'extérieur ; c'est surtout à la partie supérieure, où la pression est maximum, qu'il doit être fait avec le plus de soin.

Nous n'entrerons pas dans le détail de composition

des vernis dont la base est en général de l'huile de lin cuite et très siccative.

Le vernissage augmente nécessairement le poids de l'enveloppe dans d'assez grandes proportions, d'autant plus que l'on donne trois couches ; ainsi la soie prend comme vernis pour trois couches environ une fois et demie son poids. Comme elle pèse en général 50 gr. par mètre carré, lorsqu'elle sera vernie sur les deux côtés elle pèsera donc (50 gr. + 75) = 125 gr.

Le ponghée pesant 80 gr. par mètre carré pèsera entièrement verni 80 + 120 = 200 gr.

Le tissu de coton pesant 167 gr. pèsera environ 417 gr. par mètre carré d'étoffe vernie.

Il n'y a que les ballons en baudruche qui sont imperméables à l'hydrogène et dont le vernissage est inutile de ce fait ; ce tissu est aussi le plus léger. Mais son prix élevé et sa décomposition rapide par sa nature organique, font que son emploi est surtout limité aux petits ballons-jouets.

Soupapes. — La soupape la plus communément employée autrefois était celle du physicien Charles. Elle est formée de deux clapets mobiles autour d'une charnière et s'ouvrant de haut en bas. Une corde traversant le ballon permettait d'ouvrir à la fois les deux clapets. Les ressorts de rappel, au nombre de deux ou de quatre, forçaient les clapets à fermer l'orifice. Mais il était difficile d'éviter les fissures, aussi a-t-on recours aujourd'hui aux soupapes de Yon et du colonel Renard.

La soupape Yon ne comporte (figure 4) qu'un seul clapet circulaire et d'une seule pièce ; le joint est formé par un rebord en forme de bourrelet, qui entre dans une encoche garnie de caoutchouc.

Ce rebord intérieur est donc abrité des poussières, de la neige ou de la glace et permet une fermeture plus étanche de la soupape. Quatre ressorts à boudin en acier, en rappelant énergiquement le clapet, assurent la

fermeture. La tige de ce clapet, terminée par un écrou, coulisse librement dans un guide et l'ouverture s'ob-

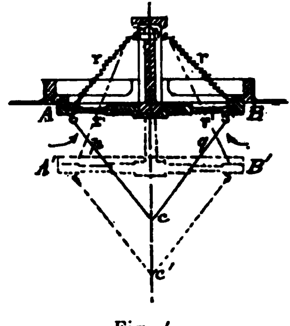


Fig. 4.

tient par une cordelette, comme dans la soupape précédente.

Gabriel Yon l'a encore perfectionné en remplaçant les

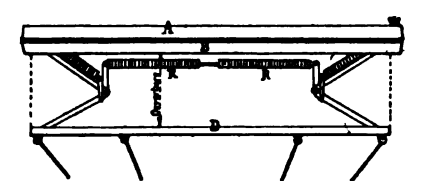


Fig. 5. — Soupape Yon ouverte.

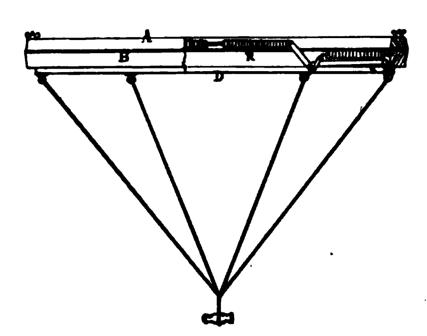


Fig. 6. — Soupape Yon fermée.

ressorts à boudin obliques par des ressorts horizontaux, ce qui la rend moins encombrante (fig. 5 et 6).

Un cordage particulier forme la couronne supérieure du ballon et termine le filet; contre cette couronne est fixée la collerette de la partie extérieure fixe de la soupape.

Il importe de prendre la précaution de vérifier que le poids de la corde de la soupape soit plus faible que l'effort de traction des ressorts car, dans le cas contraire, le ballon peut se vider sans s'en apercevoir pendant un certain temps : le cas est arrivé au fameux Géant de Nadar, lors de sa première ascension, le 4 octobre 1863 : les voyageurs partis de Paris très gais et pleins d'espoir, pensant naviguer vers des contrées inconnues, descendirent piteusement à Meaux.

D'ailleurs, à la seconde ascension du même ballon (avec son aéronaute-photographe et d'autres personnes), le contraire arriva : les passagers ne retrouvaient plus la corde de la soupape ! De là le fameux et terrible traînage et l'atterrissage à Hanovre, le 18 octobre de la même année.

Les soupapes métalliques doivent être rejetées à cause de l'électrisation par influence ; si l'hydrogène est mélangé d'air, il peut y avoir explosion par suite d'une étincelle : c'est précisément arrivé en 1883 en Allemagne.

Les aéronautes militaires se servent de la soupape imaginée par le colonel Renard qui ne comporte aucune pièce métallique.

On détermine le diamètre à donner aux soupapes de telle façon que le ballon puisse se vider en 4 ou 5 minutes.

Si r est le rayon de la soupape, et R celui du ballon, on prend sensiblement :

Pour l'hydrogène :

$$r = \frac{1}{44} R \sqrt[4]{R}.$$

Pour le gaz d'éclairage :

$$r = \frac{1}{29} R \sqrt[4]{R}. \qquad (1)$$

Dans la pratique, on prend le diamètre de la soupape égal au $\frac{1}{20}$ de celui du ballon.

Comme on le voit, les soupapes sont des organes très sérieux et auxquels il faut apporter le plus grand soin. On cite comme de véritables merveilles celles qui existaient aux ballons captifs de Giffard, de 1867 et de 1878.

Appendice ou manche. — L'orifice de l'appendice (ou manche) doit avoir un diamètre tel que si le ballon monte avec une vitesse de 4 mètres, le gaz qui s'en échappe n'ait pas une vitesse de plus de 2 mètres.

Un calcul assez compliqué montre que le diamètre de l'orifice de l'appendice doit être égal à environ le $\frac{1}{20}$ de celui du ballon.

En général, l'appendice se présente sous l'aspect d'un tube cylindrique en étoffe, légèrement évasé vers le haut. Le cercle d'appendice, destiné à empêcher l'orifice inférieur de s'obstruer, se pose comme la soupape.

2° *Filet.* — Le filet, en chanvre ou en soie, a pour objet de répartir également sur toute la surface de l'enveloppe le poids de la nacelle et de son contenu.

L'expérience a montré qu'il ne devait envelopper que les $\frac{2}{3}$ du ballon à partir du sommet.

Il est formé d'un certain nombre de fuseaux dont le tracé s'effectue comme celui des fuseaux de l'enveloppe. Seulement le tracé des mailles ne se fait pas de la même façon pour la moitié supérieure que pour la moitié inférieure.

(1) Ces formules sont tirées du volume *L'Aéronautique* de M. Banet-Rivet (1898), Henri May, éditeur.

La figure 7 montre comment, à partir du point O (situé aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur à partir du sommet), sont disposées les premières petites pattes d'oie qui réunissent

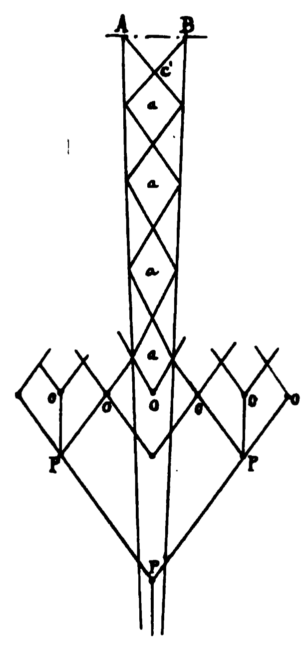


Fig. 7.

les mailles deux à deux lorsque le filet devient tangent au ballon. La même figure montre aussi comment les petites pattes d'oie sont réunies deux à deux par les *grandes pattes d'oie* P auxquelles on attache les cordeaux de suspension ou suspentes qui terminent le filet. L'exécution ne présente d'ailleurs rien de particulier. Le lecteur trouvera, s'il le désire, des renseignements plus détaillés dans les ouvrages techniques sur la construction des ballons.

Ce filet, une fois construit, est toujours passé à une préparation hydrofuge destinée à le rendre imputrescible

et à atténuer les variations de longueur que subirait le chanvre sous l'action de l'eau et du soleil.

Le cercle d'arrimage réunit toutes les suspentes au

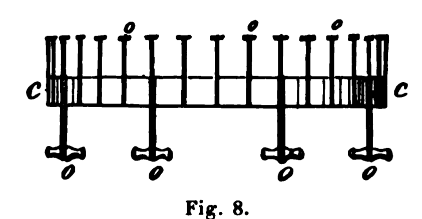


Fig. 8.

moyen de *petits cabillots*, fig. 8, et la nacelle a ses cordes tenues par les gros cabillots.

Dans les ballons bien construits, le principe de la suspension rigide de Dupuy de Lôme (qui sera exposée plus

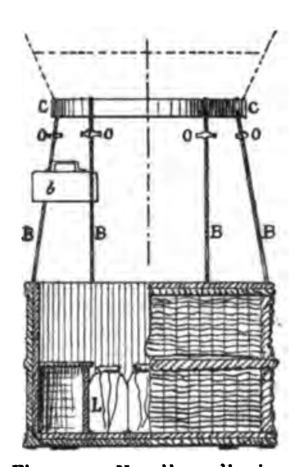


Fig. 9. — Nacelle ordinaire.

loin) est appliqué même pour des nacelles de petites dimensions.

3° *Nacelle.* — Les nacelles en usage dans les ballons ordinaires sont des paniers tressés en osier, dont le fond est renforcé par des traverses et des planches minces, et

dont le bord est rendu rigide et indéformable par un cadre intérieur en tube d'acier.

En général, elles sont munies de soutes dont le couvercle sert de siège, fig. 9. La nacelle du Géant de

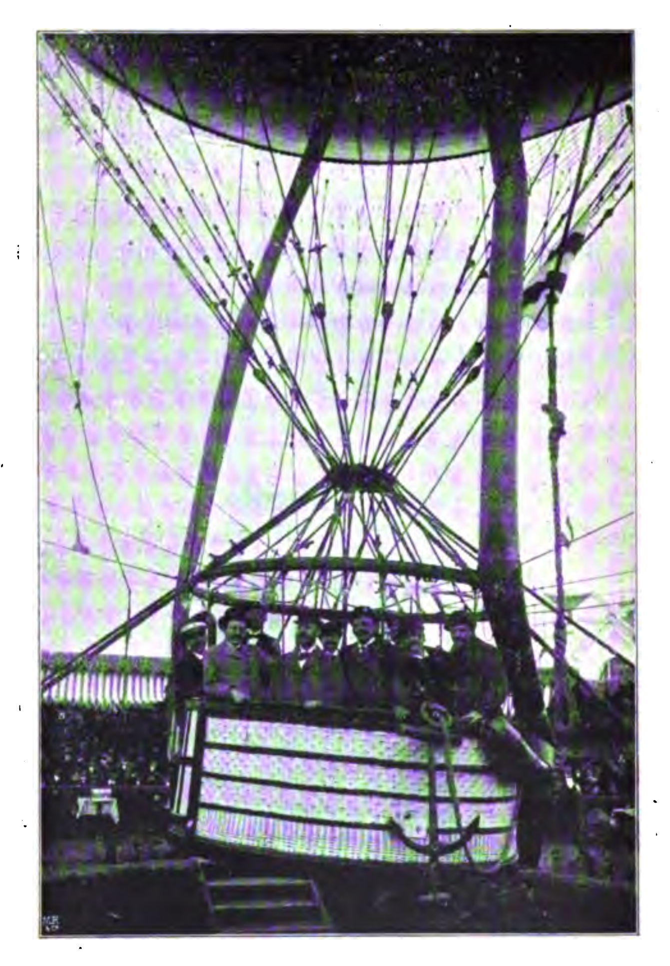


Fig. 10. — Nacelle de ballon captif enlevant 15 personnes.

Nadar, en 1863, était une véritable maison d'osier surmontée d'une main courante. Les nacelles des captifs de

Giffard pouvaient contenir jusqu'à 30 passagers, étaient spéciales et avaient une forme cylindrique.

4° *Engins de montée et d'arrêt.* — Le lest, sorte de sable fin, pourrait être appelé engin de montée, tandis que *l'ancre,* le *grappin*, *le guide-rope* seraient les engins d'arrêt pour les ascensions terrestres, le *cône-ancre à clapet délesteur*, *les équilibreurs*, *les déviateurs* étant les engins pour les ascensions maritimes.

Le lest est contenu dans des sacs en toile dont les poids varient de 10 à 20 kg. ; le poids total dépend nécessairement de la hauteur à laquelle on veut arriver, de la durée de l'ascension, des influences diverses.

Le poids à sacrifier pour atteindre une zone de poids spécifique a_1 est donné par la formule :

$$l = V (a_0 - a_1) (1 - d) \qquad (a)$$

que l'on déduit de la formule donnant la force ascensionnelle propre d'un gaz aérostatique, indiquée précédemment :

$$\varphi = 0{,}0013 (1 - d).$$

Ainsi, pour un ballon de 8 mètres de rayon, cubant 2.140 mètres, si on veut s'élever à 1.000 mètres, hauteur pour laquelle $h_1 = 670$ et $a_1 = 0{,}00106$, il faudra projeter, d'après la formule précédente (a), 253 kg. de lest.

Le poids à conserver pour descendre sera déterminé par la formule :

$$p = V \times 0{,}0013 \times 0{,}004 (T - t) \frac{h_1}{760}$$

T et t étant les températures au sol et à la zone d'équilibre.

Cette formule, pour l'application précédente d'un ballon de 2.140 mètres, donne comme poids de lest à conserver pour descendre 60 kg. environ.

Si l'on veut atteindre 3.000 mètres, il faudra jeter environ 680 kg. pour monter et conserver 112 kg. pour descendre.

Chacun des autres engins d'arrêt a son emploi.

Le guide-rope, corde d'environ 100 à 150 mètres de long, permet souvent d'atterrir sans secousses appréciables s'il n'y a pas de vent. S'il y a du vent, l'ancre devient nécessaire.

L'ancre ordinaire est connue de tous, mais on lui préfère l'ancre de Yon à 4 branches, et même l'ancre Hervé à 6 ou à 8 branches (fig. 11). Il y a aussi l'ancre-herse

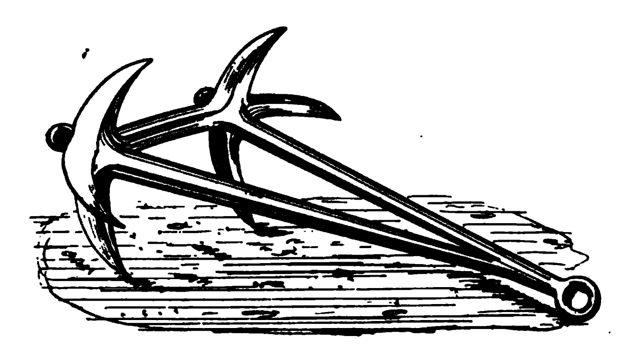


Fig. 11. — Ancre Hervé à 6 branches.

du colonel Renard, engin plus puissant que les précédents mais plus délicat.

La corde d'ancre et le guide-rope sont presque toujours attachés au cercle et pendent en rouleaux contre les parois extérieures de la nacelle.

La force d'une cordre d'ancre doit être suffisante pour résister, au moment de l'atterrissage, à un vent de 20 mètres (vent de tempête) dont la force de traction sur un ballon de rayon R est donnée par la formule :

$$f = 89\,R^2$$

R étant exprimé en mètres et f en kilogrammes.

Quant aux autres engins, employés dans les ascensions maritimes, ils sont spéciaux et nous en parlerons peu.

Le *cône-ancre* de *Sivel* à clapet délesteur est un vaste

sac conique en toile goudronnée, d'une capacité en rapport avec le tonnage du ballon. A la mer, ce cône se remplit d'eau et permet de maintenir l'aérostat au-dessus des flots, soit pour planer ou attendre du secours.

Pour délester il suffit de tirer la corde qui commande le clapet, le cône se vide et le ballon reprend son mouvement ascensionnel.

Les équilibreurs et les déviateurs de M. Hervé, les premiers, sortes de flotteurs pouvant se courber sous de faibles rayons, et les seconds, sortes de persiennes, sont des engins qui ont déjà rendus de grands services et ont donné des résultats fort appréciables lors de la tentative de traversée de la Méditerranée en octobre dernier, par MM. de la Vaux et de Castillon de Saint-Victor.

Ces appareils ne rentrant pas dans le cadre que nous nous sommes tracé, le lecteur pourra, s'il le désire, consulter des ouvrages spéciaux traitant cette question.

II. — *Ballons dirigeables.* — Les dirigeables sont composés comme les ballons sphériques : 1° d'une enveloppe ou ballon proprement dit avec ses soupapes, son appendice ou manche ; 2° d'un filet ou simplement de suspentes ; 3° d'une nacelle spéciale, contenant le moteur et très souvent le propulseur ; 4° des engins d'arrêt.

Enveloppe ou ballon proprement dit :

Il est difficile d'aborder de plein pied cette étude, les formes d'une enveloppe devant donner lieu à des résistances à l'avancement minimum. Ces formes doivent être déterminées par des éléments raisonnés et la simplicité de construction ne doit pas entrer en ligne de compte.

De plus, il ne faut pas se faire l'esclave d'une classe donnée de surfaces géométriques.

Jusqu'à présent la méthode de construction des enveloppes par cônes sphériques a donné les meilleurs résultats, mais comme on ne sait pas encore au juste à quelles

formes et à quelles proportions l'avenir donnera la préférence, il peut se faire que l'on emploie une méthode toute différente de celle dont nous venons de parler.

Ainsi, le ballon *La France* de MM. Renard et Krebs était une surface engendrée par des courbes paraboliques, sa forme dissymétrique avec le maître-couple placé au $\frac{1}{4}$ de la longueur à partir de la pointe avant, avait rendu sa construction plus délicate et plus difficile. Il est bien certain que le fuseau symétrique est beaucoup plus simple à construire.

Mais comme le dirigeable, à l'encontre du ballon ordinaire, doit rester à peu près parallèle au sol, à de faibles hauteurs, qu'il doit avoir une vitesse assez grande et se diriger vers un point déterminé, la question altitude ne compte pour ainsi dire pas.

On se trouve donc assez éloigné des principes indiqués précédemment ayant trait aux dilatations ou contractions produites par les différentes zones, et il n'est plus question de fortes différences de poids spécifiques de ces couches superposées. Ce qu'il faut avant tout, ce sont des enveloppes très résistantes afin de pouvoir supporter la pression déterminée par la vitesse.

On ne peut donc donner de nombreux détails sur la construction des enveloppes, les formes étant généralement très différentes les unes des autres. L'allongement diffère aussi. Toutefois, les tissus employés doivent être évidemment les plus résistants.

Quant au filet ou aux suspentes, il est difficile de donner des indications, bien précises, le filet tend évidemment à se supprimer pour être remplacé par des fils d'acier très fins, comme l'ont fait MM. Santos-Dumond, Tatin et de Bradsky. D'autre part, peut-être supprimera-t-on un jour la suspension en reliant la nacelle directement à l'étoffe du ballon.

On ne peut non plus donner des détails pour la con-

struction de la nacelle : il s'agit aussi qu'elle donne le moins possible de résistance à l'avancement. On peut cependant assurer qu'il lui faut une grande rigidité et une grande solidité car elle porte le moteur et le propulseur, elle est donc soumise aux variations des efforts de ce dernier, qui peuvent atteindre une valeur assez élevée.

Les engins d'arrêt sont les mêmes que pour les ballons ordinaires, mais tendent à devenir plus pratiques et plus mécaniques à la fois : il est certain que l'avenir nous réserve bien d'autres nouveautés.

CHAPITRE III

GONFLEMENT ET LANCEMENT. INSTRUMENTS D'OBSERVATIONS

I. — Tout gaz beaucoup plus léger que l'air devrait servir à gonfler un ballon, mais pratiquement, à cause du prix de revient, on emploie l'hydrogène et le gaz d'éclairage. Nous allons voir plus foin que le premier est le plus couramment employé, surtout s'il s'agit de ballons dirigeables.

L'hélium, nouvellement découvert, dont la densité est à peu près 0,14 et qui n'est pas combustible est peut-être le gaz aérostatique de l'avenir, mais actuellement on ignore comment s'en procurer de grandes quantités.

Hydrogène. — Par suite de sa densité, qui est de 0,0692, l'hydrogène est le gaz qui, pratiquement, donne la plus grande force ascensionnelle, car le litre pèse $1,293 \times 0,0692 = 0$ gr. 089, c'est-à-dire 14 fois et demie moins que l'air. La grande difficulté est sa faculté endosmotique, c'est pourquoi, pour empêcher autant que possible le dégonflement, est-on obligé d'employer des enveloppes en tissu spécial, bien vernissé des deux côtés.

L'hydrogène se prépare industriellement par voie humide et par voie sèche.

1° VOIE HUMIDE. — Le procédé par voie humide appliqué pour la première fois par le physicien Charles, en 1783 portait le nom de *méthode des tonneaux*.

L'eau, en contact avec le zinc (ou le fer), se décompose à froid en présence d'un acide capable de s'emparer de l'oxyde qui se forme. Avec le zinc, la réaction est représentée par la formule :

$$H^2SO^4 + Zn = 2H + ZnSO^4$$

Avec le fer :

$$H^2SO^4 + Fe = 2H + FeSO^4$$

Dans les deux cas, le résidu a peu de valeur, car les produits obtenus : sulfate de zinc ou sulfate de fer sont impurs.

On peut remplacer l'acide sulfurique par l'acide chlorhydrique HCl, les équations sont celles-ci ;

$$2HCl + Zn = 2H + ZnCl^2$$
$$2HCl + Fe = 2H + FeCl^2$$

Mais l'acide sulfurique industriel est presque à son maximum de concentration, tandis que l'acide chlorhydrique est plus étendu d'eau. Il en résulte que le poids d'acide chlorhydrique commercial capable de fournir un poids donné d'hydrogène est beaucoup plus considérable que celui d'acide sulfurique. D'un autre côté les vapeurs d'acide chlorhydrique sont gênantes et dangereuses ; il est de même difficile de les éliminer complètement dans la préparation du gaz, elles peuvent alors corroder l'enveloppe du ballon. Cet acide est donc très peu employé.

Pour déterminer le plus avantageux du zinc ou du fer, il est facile de voir, par les formules précédentes que pour obtenir 2 parties d'hydrogène, il faut 65 parties de zinc et 56 de fer; or le zinc est plus cher que le fer et donne parfois naissance à de l'hydrogène arsénié AsH^3, ou arséniure d'hydrogène à cause de l'arsenic ou acide

arsénieux AsO^3 qu'il contient. Cet hydrogène arsénié, avec son odeur alliacée est des plus toxiques, et sa densité est de 2,695.

L'avantage que présente le sulfate de zinc d'être plus soluble que le sulfate de fer, n'est pas évidemment compensé par ces inconvénients.

L'acide sulfurique et le fer sont donc généralement employés.

Appareils à tonneaux. — Le dispositif du physicien Charles, composé, d'une série de tonneaux ordinaires en bois (6 à 80), présentait un inconvénient sérieux : le dégagement de gaz produit dans chaque tonneau, d'abord assez rapide, allait en se ralentissant à mesure que le sulfate de fer prenait naissance avec plus d'abondance. et souvent il fallait briser les récipients pour en retirer les résidus.



Fig. 12. — Générateur à gaz hydrogène semi-fixe produisant de 125 m.c. à 1000 m. c. à l'heure.

Jusqu'en 1875, ce procédé par voie humide était toujours appliqué, mais à cette époque le colonel Renard

fit construire le premier appareil à circulation aux ateliers aérostatiques de Chalais, et les aéronautes sérieux, tels que Giffard, G. Yon, G. Tissandier, etc., s'empressèrent de l'adopter.

Appareil à circulation. — Le principe de l'appareil à cuvettes est le suivant : le générateur ou bouilleur dans

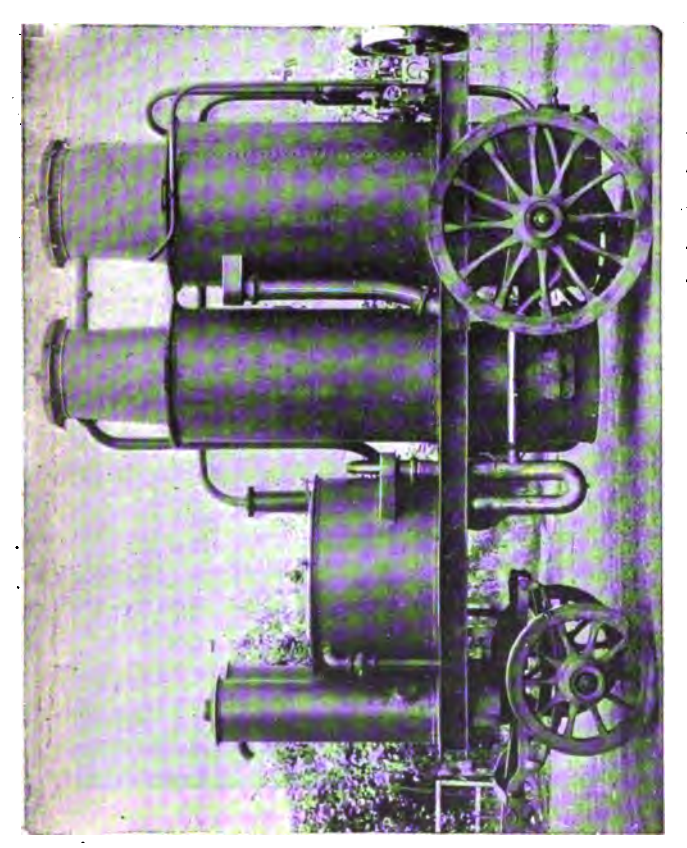


Fig 13. — Générateur à gaz hydrogène pur sur chariot. Production de 75 m c. à 1.000 m. c. à l'heure.

lequel se produit l'hydrogène par le fer et l'acide sulfurique, est divisé en deux parties superposées par une plaque horizontale garnie de petits trous. La tournure de fer se place à la partie supérieure qu'elle remplit, tandis que

l'acide sulfurique étendu d'eau, amené d'un réservoir situé à une certaine hauteur arrive au-dessous de la plaque, et grâce à sa pression pénètre dans la tournure par les trous de la plaque. Le sulfate de fer formé est entraîné

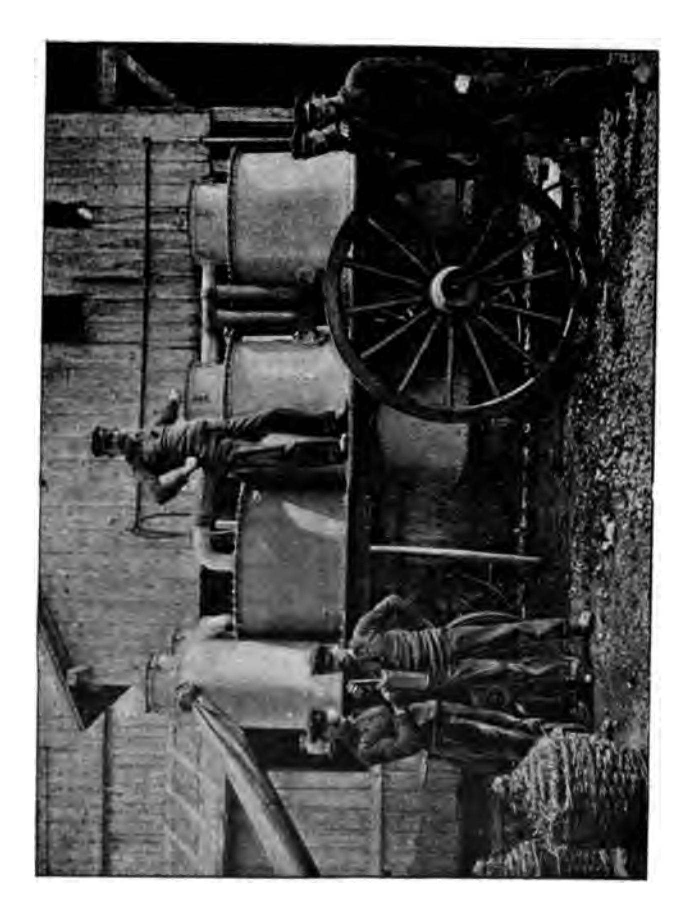


Fig. 14. — Appareil à hydrogène de M. Lachambre.

constamment de bas en haut avec le liquide, s'écoule d'une manière permanente, et la tournure ne se recouvre pas d'une couche de sulfate. Il n'y a plus qu'à faire passer le gaz à travers un laveur et un dessiccateur convenables pour l'obtenir aussi pur et aussi sec que pos-

sible. Les appareils de ce genre permettent de débiter

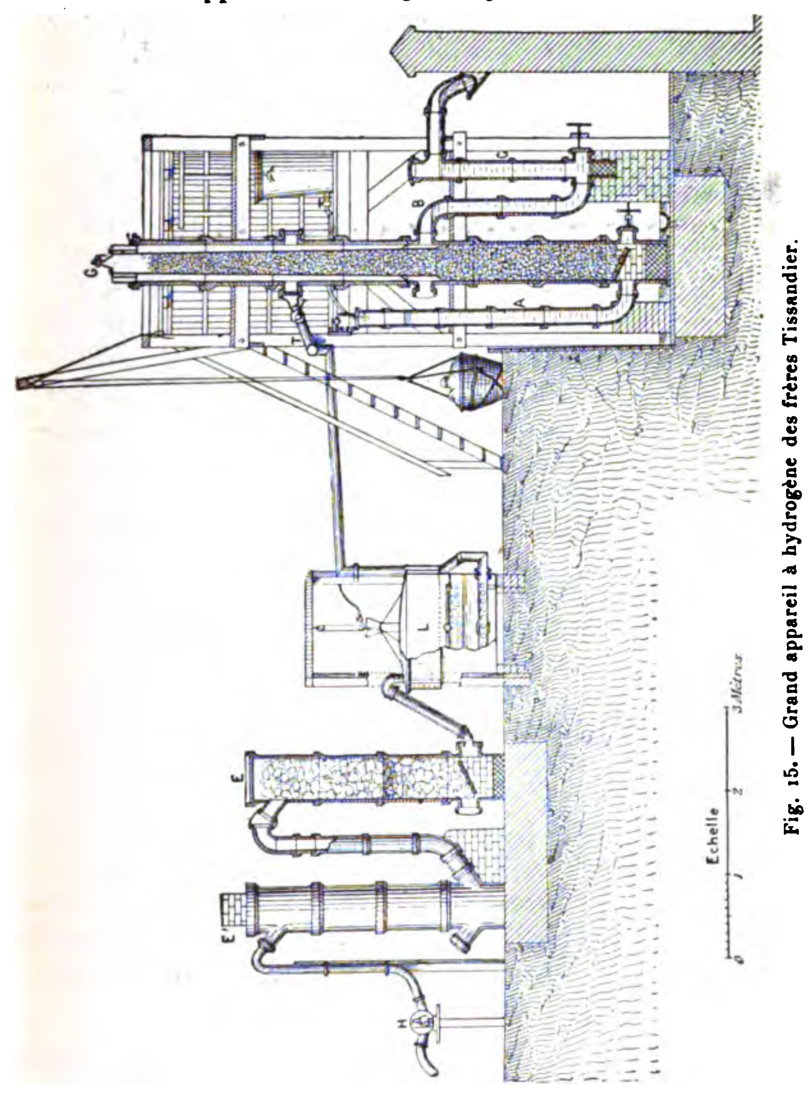


Fig. 15. — Grand appareil à hydrogène des frères Tissandier.

au moins 300 m^3 à l'heure. Les générateurs semi-fixe etde campagne de G. Yon (1), reposent sur le même principe

(1) Construits par la Société Lyonnaise (ancienne maison Flaud).

(figures 12 et 13), l'eau acidulée arrive par un tuyau, elle est distribuée dans des proportions convenables par des pompes actionnées par un petit moteur spécial. Les deux bouilleurs sont garnis de plomb et reçoivent la tournure de fer nécessaire ; le sulfate de fer produit peut s'écouler constamment par un tuyau adapté à un siphon de déversement.

A la sortie des bouilleurs, le gaz passe par le laveur où il barbote dans une eau sans cesse renouvelée par une pompe spéciale. Enfin le gaz passe par les sécheurs d'où il peut, en passant par un autre tuyau mobile être conduit au ballon. Actuellement on supprime souvent les sécheurs car le gaz n'est pas très alourdi par la présence de la vapeur d'eau ; il a une force ascensionnelle d'environ 1.100 gr. par mètre cube. L'appareil de M. Lachambre dont la fig. 14 en donne une idée est à peu près le même que ceux de M. Yon et de M. Godard : les deux bouilleurs sont à l'arrière de chaque côté de l'essieu. Les appareils à production continue de Giffard pour le gonflement des captifs de 1867 et 1878 étaient remarquables, surtout celui de 1878.

Les frères Tissandier avaient aussi installé, dans leurs ateliers aérostatiques d'Auteuil, lors de la construction de leur dirigeable, un appareil à production analogue à celui de Giffard de 1878, mais légèrement modifié : au lieu d'un grand générateur unique, l'appareil comportait quatre générateurs identiques formé de tuyaux Doulton en grès (fig. 15). L'hydrogène produit avait, paraît-il, une force ascensionnelle de 1.190 gr. par mètre cube, chiffre qui n'avait jamais été obtenu dans les préparations aérostatiques faites en grand.

2° VOIE SÈCHE. — *Appareil Coutelle et Condé.* — Se basant sur les expériences de Lavoisier, faites en 1771, qui préparait l'hydrogène par la décomposition de la vapeur d'eau sur le fer chauffé au rouge, les aérostiers

militaires, Coutelle et Condé, envoyés par le Comité de Salut Public à l'armée de Sambre-et-Meuse, construisirent à Maubeuge, en 1794, un appareil de taille suffisante pour produire la quantité d'hydrogène nécessaire au gonflement du ballon *L'Entreprenant* (1).

L'appareil pouvait produire environ 15 m^3 à l'heure, son principal avantage résidait dans l'économie qu'il présentait à l'époque, car la fourniture de 4 à 500 mètres cubes ne coûtait que le prix du charbon employé pour la réduction de l'eau en vapeur et le chauffage des tubes en fonte emplis préalablement de limaille ou de tournure de fer. La réaction peut s'exprimer par la formule suivante :

$$4HO + 3Fe = Fe^3O^4 + 4H$$

qui montre que l'oxygène se combine avec le fer pour former de l'oxyde magnétique Fe^3O^4 et l'hydrogène se dégage.

Mais l'installation de fours énormes se détruisant rapidement, l'irrégularité du dégagement ont condamné cette méthode.

Appareil de Giffard. — En 1865, Giffard avait imaginé de produire l'hydrogène en faisant passer de l'oxyde de carbone sur du minerai de fer oligiste, puis ensuite de la vapeur d'eau sur le fer produit.

L'oxyde était d'abord réduit, ainsi que le montrent les équations suivantes :

$$Fe^2O^3 + 3CO = 2Fe + 3CO^2.$$
$$Fe^3O^4 + 4CO = 3Fe + 4CO^2.$$

(1) Les premiers essais de gonflement d'un ballon avaient été faits à Meudon, sous les auspices du physicien Charles et du représentant Guyton de Morveau. Ces derniers étaient arrivés à dégager le gaz hydrogène de l'oxygène par la décomposition de l'eau sur le fer rougi à blanc, mode que l'on avait préféré à l'emploi de l'acide sulfurique comme étant moins coûteux.

La vapeur d'eau passant ensuite sur le fer obtenu, donnait de l'hydrogène :

$$3Fe + 4H^2O = 8H + Fe^3O^4.$$

Le fer s'oxydait donc de nouveau et devenait Fe^3O^4 que l'on ramenait à l'état de fer par le courant d'oxyde de carbone. En somme, le minerai de fer oligiste devait servir indéfiniment, il n'y avait à dépenser que le coke nécessaire à la production de l'oxyde de carbone et le charbon nécessaire à la vaporisation de l'eau.

En réalité, l'hydrogène obtenu n'est pas très coûteux (il revenait paraît-il à 0 fr. 35 le mètre cube), mais sa force ascensionnelle ne dépassait pas 1.000 gr., et le dégagement était lent et irrégulier.

Procédés divers. — Un autre procédé qui a donné d'assez bons résultats, consiste à calciner un mélange de zinc, de chaux, mélangés avec un peu de sciure de bois. La réaction est représentée par l'équation :

$$Ca(OH)^2 + Zn = 2H + CaO^2Zn$$

qui indique que le résidu obtenu est du zincate de calcium CaO^2Zn.

Le colonel Renard a montré qu'il y a avantage, dans certains cas, à remplacer la chaux par une dissolution d'un salin particulier, tel que le carbonate de soude ordinaire Na^2CO^3, car la réaction a lieu à la température ordinaire, le résidu étant du zincate de sodium Na^2O^2Zn.

Appareil à gazéine. — Le Directeur de l'établissement de Chalais-Meudon a fait construire, en 1880, un appareil destiné à retirer l'hydrogène de la gazéine. Ce dernier produit est susceptible de dégager de l'hydrogène sous une température modérée. Le générateur combiné par M. Renard pouvait produire environ 50 m^3 par heure avec un poids faible de matières chimiques ; mais le prix de revient est très élevé.

Gaz à l'eau et méthodes diverses. — Sous la dénomination de gaz à l'eau, plusieurs inventeurs ont essayé de produire l'hydrogène par différents systèmes. En avril 1817, Gimgembre père et fils prirent un brevet pour tenter l'application du gaz à l'eau ; ils essayèrent, au lieu d'injecter l'eau, de faire passer un courant de vapeur dans des cornues remplies de charbon de bois incandescent. Mais l'hydrogène ne pouvait être obtenu pur.

En 1850, Selligue, qui produisait le gaz d'éclairage à son usine des Batignolles, par la décomposition de l'eau en présence du charbon de bois, le carburait ensuite pour rendre sa flamme éclairante.

Il pouvait donc avoir de l'hydrogène à peu près pur, mais, pour de grandes quantités, c'était impossible : l'oxyde de carbone se mélangeait au gaz et, malgré les essais du chimiste Gillard, le système n'eut qu'un succès médiocre. Un autre chimiste, Longsden, a bien montré qu'en ajoutant au coke qui sert à préparer le gaz un sel de potasse ou de soude, l'oxyde de carbone disparaît presque complètement, mais le gaz s'alourdit et perd de ce fait de ses qualités aérostatiques.

Dans ces dernières années, la fabrication du gaz à l'eau et de l'hydrogène, par voie sèche, a été reprise par MM. Imbert et Henry en France et par les frères Dowson en Amérique.

C'est par le contact de la vapeur d'eau chauffée jusqu'à son point de dissociation avec du coke incandescent que MM. Imbert et Henry ont obtenu le gaz léger, mais mélangé d'une petite quantité d'oxyde de carbone. Ils prétendent qu'une tonne de coke rend 3.200 m^3 d'hydrogène que l'on peut carburer ensuite pour les besoins de l'éclairage.

Enfin, M. J. Leloup et un ingénieur russe, Latchinow, ont aussi indiqué d'autres procédés de fabrication, mais qui sont peu utilisés industriellement.

Pour être complet, il faut signaler les efforts qui ont

été faits pour obtenir de l'hydrogène par l'électrolyse de l'eau. Le colonel Renard est certainement un de ceux qui ont le plus étudié la question.

L'appareil étudié par l'éminent ingénieur-aéronaute, est formé d'une série de grands voltamètres en fer remplis d'eau distillée, alcalinisée avec de la soude caustique NaOH dans la proportion de 15 o/o et dans lequel on fait passer le courant d'une dynamo d'un régime suffisant.

Le courant traversant le liquide alcalinisé décompose la soude caustique en sodium qui tend à se former sur l'électrode négative (cathode), et en eau oxygénée H^2O^2 qui tend à se former sur l'autre électrode (anode) :

$$2NaOH = 2Na + H^2O^2.$$

Mais l'eau oxygénée se décompose en eau et en oxygène :

$$H^2O^2 = H^2O + O.$$

La soude caustique se reforme, et il y a dégagement d'hydrogène :

$$2Na + 2H^2O = 2NaOH + 2H.$$

C'est donc une décomposition de l'eau du voltamètre en oxygène (anode) et hydrogène (cathode) et régénération de la soude caustique.

Chaque voltamètre (fig. 16) est formé d'un grand cylindre AA de 3 m. 40 de hauteur et environ 30 centimètres de diamètre, à l'intérieur duquel se trouve un second cylindre en fer BB de 3 m. 30 de haut et d'environ 17 centimètres de diamètre, percé d'un grand nombre de petits trous permettant l'ascension des gaz à l'intérieur du cylindre.

Le voltamètre est muni d'un robinet R dont l'ajutage le met en communication avec un réservoir surélevé qui contient la solution alcaline. Un sac en toile d'amiante CC, fermé par le bas, oppose une faible résistance au

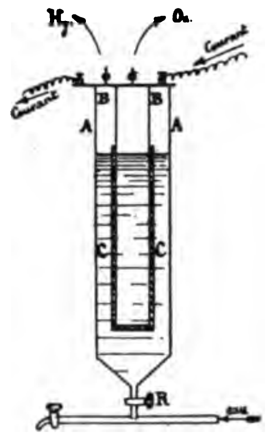


Fig. 16.

courant électrique et s'oppose au mélange de l'oxygène à l'hydrogène lorsque la décomposition a lieu.

Nous ne nous étendons pas trop sur ce procédé, car il

Procédés de fabrication de l'hydrogène.

Nature du procédé.	Poids de réactif par M³	Prix de revient du M³	Observations.
Vapeur d'eau et fer (cornue)	Kilos 2.200	0 f. 80 à 1 f.	Appareils énormes se détruisant rapidement.
Vapeur d'eau et zinc fondu	3	1.80 à 2 f.	Dégagement lent et irrégulier.
Eau bouillante, antimoine et zinc	3	3	Dégagement trop lent.
Tourn. de fer et SO^3HO	8 à 9	1 à 1.20	Adopté par les places.
Tourn. de fer et HCl	12 à 13	1 à 1.20	Poids supérieur, vapeurs acides.
Zinc et SO^3HO	8 à 9	2.50	Prix trop élevé, projet dangereux.
Sodium et eau pure	2.300	25	Prix trop élevé.
Calcium et eau pure	2.300	»	Excellent procédé mais trop cher.
Zinc et salin	12	4 f.	Employé au Tonkin. Cher.
Alun et soude du cᵉ	5.500	?	Trop cher.
Zinc, chaux et sciure	8	0.20 à 0.25	Dégagement lent, gaz lourd.
Gazéine	3	5.80	Bon procédé, dégagement lent.
Procédé électrique	0.081 Eau distillée	0.30 à 0.40	Dégagement très lent.

faut avoir le courant électrique à très bon marché pour produire le gaz à un prix industriel. D'autre part, le dégagement est très lent, mais en revanche la pureté

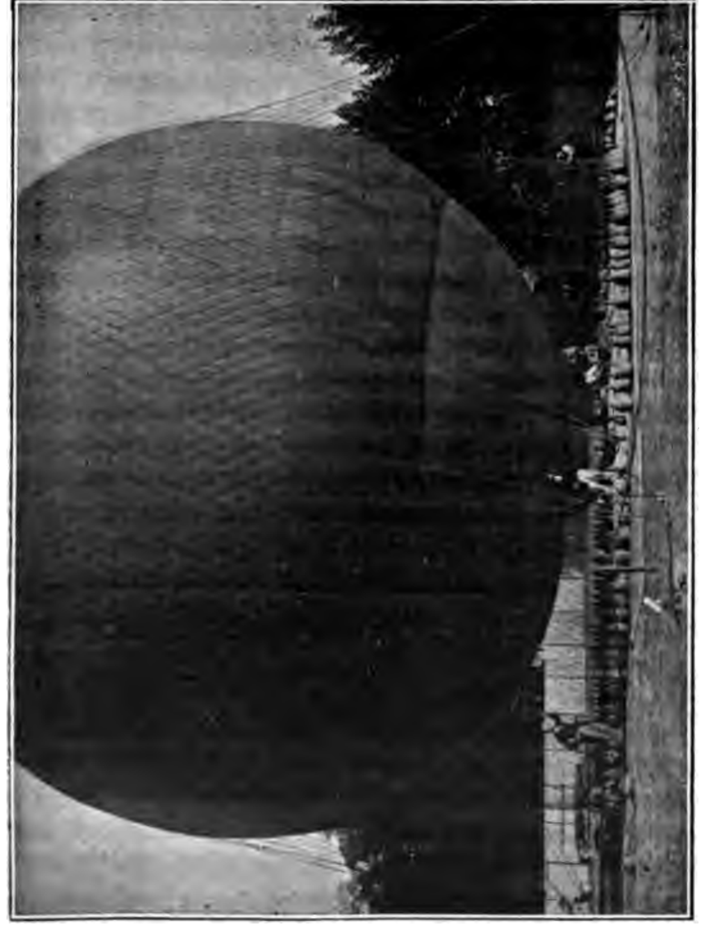


Fig. 17. — Gonflement d'un ballon sphérique.

obtenue est grande, car la force ascensionnelle est de 1.100 grammes (l'hydrogène chimiquement pur étant de 1.117 grammes). Aussi en Allemagne, où le kilowatt est

peu élevé, le procédé Renard, plus ou moins modifié, est-il employé couramment.

En résumé, des deux procédés de production d'hydrogène, le premier, celui par voie humide, est un des plus employés : il a servi à un grand nombre d'essais de dirigeables qui ont eu lieu jusqu'à ce jour.

Toutefois, le tableau comparatif précédent montre quels sont les différents procédés et donne des détails suffisants pour se rendre compte de la valeur industrielle de chacun.

II. — *Gonflement proprement dit.* — Actuellement, pour le gonflement d'un ballon, on se contente simplement d'étendre l'enveloppe sur le sol, le filet (s'il existe) bien disposé et dont les mailles sont égalisées, puis on adapte le tuyau de gonflement dans la manche de l'appendice en ayant soin d'attacher la manche à ce tuyau.

Les deux méthodes adoptées sont connues sous les noms de *méthode en épervier* et *méthode en baleine.*

Nous n'insisterons pas sur ces méthodes, mais l'attention à prendre c'est de faire en sorte que l'étoffe puisse toujours se dilater librement, sans cela toute la pression du gaz portant sur les parois supérieures, celles-ci pourraient crever.

L'appareillage s'effectue quand le gonflement tire à sa fin.

III. — Le gonflement terminé, on passe à l'équilibrage ou pesage. Les aéronautes prennent place dans la nacelle ; on arrime tous les engins d'arrêt et on accroche les différents instruments. Le tuyau de gonflement est détaché, le ballon est débarrassé des sacs de lest et les aides l'abandonnent au cri « Lâchez tout » suffisamment connu.

Pour un dirigeable, il est certain que les opérations sont plus complexes, mais l'aéronaute-conducteur connaît toujours la pratique de l'ascension libre et de plus

il doit être rompu aux exercices de son moteur, de son hélice et des différents organes.

IV. — *Instruments d'observation.* — Les plus indispensables sont le baromètre, la boussole, des cartes au $\frac{80}{1000}$,



Fig. 18. — Baromètre enregistreur.

une jumelle marine, un thermomètre et un hygromètre.
Le baromètre le plus employé est le baromètre ané-

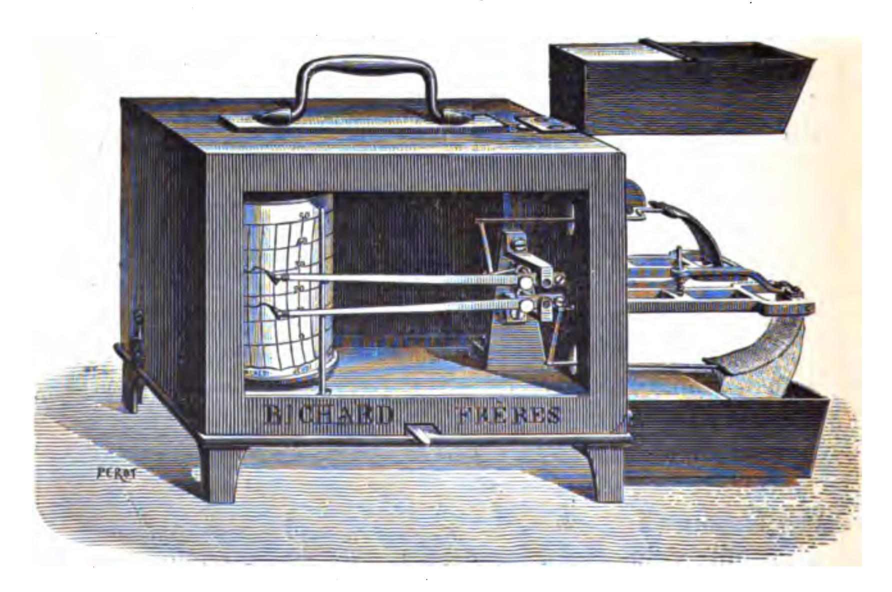


Fig. 19. — Psychromètre enregistreur.

roïde de Vidi, bien connu de tout le monde, auquel il est bon de joindre un baromètre à mercure.



Fig. 20. — Thermomètre enregistreur.

Le thermomètre le plus en usage est celui à mercure, on peut aussi y joindre celui à alcool.



Fig. 21. — Actinomètre enregisireur.

Le psychromètre d'August est presque toujours employé par les aéronautes.

Dans toute ascension sérieuse, il est important d'avoir des enregistreurs, baromètres, thermomètres, psychromètres, dont l'ingénieur Richard est le grand construc-

teur, et qui sont assez connus pour que nous croyions devoir insister.



Fig. 22. — Hygromètre enregistreur.

Ces instruments ont le grand avantage de donner, minute par minute, le graphique de l'ascension au triple

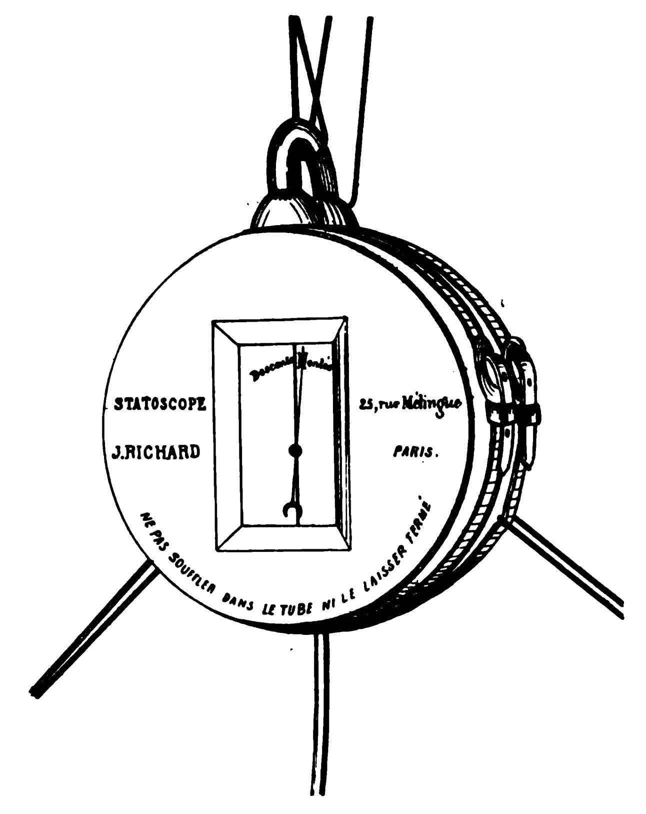


Fig. 23. — Statoscope J. Richard.

point de vue de l'altitude, de la température et de l'humidité des couches d'air traversées. Les figures 18, 19, 20 et 22 montrent ces appareils devenus aujourd'hui si précieux qu'ils ont fait la fortune de leur constructeur.

L'actinomètre enregistreur de Violle (fig. 21) composé de deux thermomètres dont les parties sensibles sont placées à l'intérieur de boules en métal dont l'une est brillante et l'autre noir mat, est aussi d'un usage fréquent.

Le statoscope (fig. 23) indique la montée ou la descente.

Enfin, un instrument de M. Richard, le météorographe universel (fig. 24), comprenant à la fois un baromètre,

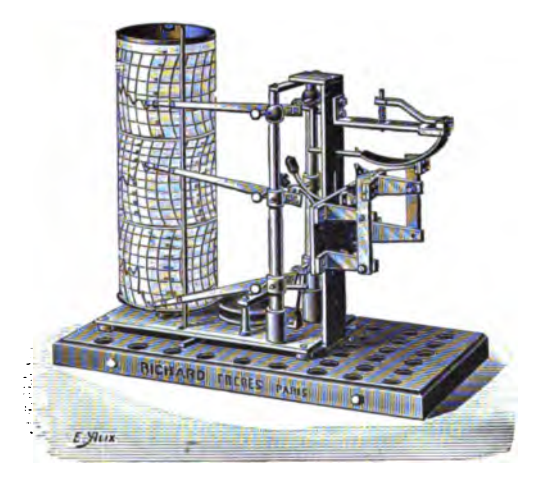


Fig. 24. — Météorographe enregistreur.

un thermomètre et un psychromètre, le tout en aluminium (comme le barothermographe), a un avantage sur les autres, c'est qu'il tient moins de place et réunit les trois feuilles sur un seul cylindre.

Pour mesurer la vitesse, on se sert du loch aéronautique ou loch aérien. C'est un appareil très simple dont les données peuvent être considérées comme très appro-

chantes : il est constitué par un petit ballon rempli d'hydrogène de façon qu'il se tienne dans l'air autant que possible, sans monter et sans descendre.

On le lâche, amarré à un fil, et du choc léger que l'on reçoit au bout de la course de ce fil, on en déduit la vitesse de l'aérostat.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

CONDITIONS DU PROBLÈME DE LA DIRIGEABILITÉ

Aussitôt que les premières montgolfières et les premiers ballons eurent montré que le séjour dans l'atmosphère était possible, les savants et les inventeurs entreprirent-ils d'assurer la conquête de l'air en se dirigeant d'un lieu à un autre.

Ils virent facilement que sans la direction la prétendue conquête de l'air n'est qu'un mot, car l'aérostat emporté par les courants aériens au gré de leur caprices est bien plutôt le prisonnier que le vainqueur des éléments.

Les tentatives qui eurent lieu jusqu'à ces dernières années ont presque toutes échoué ; faut-il conclure de là « qu'il n'y a pas de point d'appui sur l'air » ? La réponse ne se laisse pas attendre, on la devine.

Pour arriver à montrer la valeur des résultats obtenus, il suffit de rechercher les conditions nécessaires imposées par la nature même de la question et par l'état actuel de la science.

Nous allons donc dès maintenant essayer de dégager ces conditions dont la connaissance permettra d'apprécier les expériences faites et de voir dans quelle voie il convient de rechercher le progrès.

Rôle du vent. — Il est nécessaire, tout d'abord, de définir le rôle du vent dans la navigation aérienne.

Dans une brillante conférence faite, le 8 avril 1886, à la Société des Amis des Sciences, le colonel Renard a parfaitement défini le rôle du vent, et s'est exprimé ainsi :

« Pour un observateur placé au sol, le vent se « manifestant par des efforts qui ont fait employer les « expressions de violence, n'existe pas pour l'aéronaute. « Il consiste, en effet, tout simplement par un déplace- « ment qui, à un moment donné et dans les limites de « la région actuellement parcourue par le ballon, peut « être considéré comme rectiligne et uniforme.

« Ainsi le vent n'existe pas pour l'aéronaute parce « qu'il appartient à l'air et non au sol.

« Tout se passe donc pour le navire aérien, qu'il soit « ou non dirigeable, comme si l'air était immobile. La « fumée d'une cigarette s'élèverait verticalement à bord « de la nacelle d'un ballon emporté par le vent le plus « violent ».

Le ballon se meut donc dans la nappe d'un courant aérien comme une personne qui se déplace dans un bateau quand celui-ci est en marche, et le déplacement effectif ou absolu d'un ballon par rapport à la terre n'est que la résultante de son mouvement dans le milieu aérien et du déplacement dans ce dernier.

Théorème des vitesses et caractéristique du ballon dirigeable. — Au point de vue mécanique, le dirigeable diffère de l'aérostat ordinaire par la vitesse propre dont il est animé. Précisons en quoi consiste au juste cette dif-

férence, et pour cela supposons deux ballons côte à côte en un point P (fig. 25).

Tandis que l'aérostat, sorte de bouée entraînée par le vent, parcourt PX et se trouve au bout de l'unité de

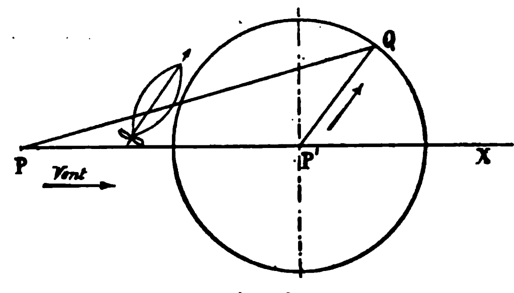


Fig. 25.

temps, par exemple en un point P′, le dirigeable parcourt le chemin PQ tel que la droite P′Q soit égale à la vitesse propre du dirigeable et parallèle à la direction du cap. Quand cette direction change, le point Q décrit une circonférence de centre P′ qui constitue le lieu des points que le dirigeable, parti de P, peut atteindre dans l'unité de temps.

Cherchons quelle valeur doit avoir cette vitesse propre par rapport à celle du vent.

D'abord, peut-on lutter contre le vent en donnant une vitesse inférieure à sa vitesse? Ou faut-il que cette vitesse soit supérieure à celle du vent?

Peut-on, en louvoyant, gagner sur le vent, avec une vitesse moindre, comme on peut le faire avec un bateau? Non, c'est impossible.

Le bateau a une partie dans l'eau et l'autre dans l'air et n'est pas comparable au ballon qui est entièrement plongé dans le fluide qui le porte.

L'impossibilité de louvoyer se déduit du principe suivant :

Pour un dirigeable, le lieu géométrique des points abor-

dables pendant l'unité de temps est, pour une même zone d'équilibre, la circonférence décrite d'un point situé sous le vent du point de départ, à une distance de ce point égale à la vitesse du vent dans l'unité de temps, avec un rayon égal à la vitesse propre du ballon (supposée constante ainsi que celle du vent).

Soit P le point de départ (fig. 26), PP′ la vitesse du vent dans l'unité de temps (arbitraire d'ailleurs).

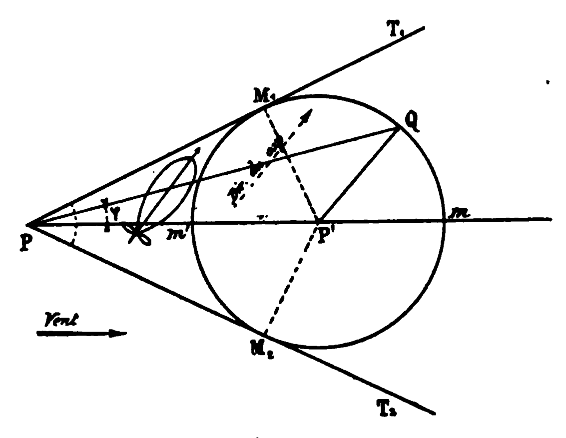


Fig. 26.

Soit P′Q la vitesse propre du ballon dans la même unité de temps, la circonférence P′Q est le lieu des points abordables au bout de l'unité de temps.

1ᵉʳ Cas. — (*a*) Supposons la vitesse P′Q du ballon plus petite que la vitesse PP′ du vent.

Posons donc :

$$P'Q < PP'$$
$$P'Q = V \; ; \; PP' = V_1, \text{ et } V < V_1.$$

La circonférence abordable au bout de l'unité de temps, aura pour centre P′ et pour rayon $P'Q = V$.

L'*angle abordable*, c'est-à-dire la portion de l'horizon ouverte à l'aérostat (à l'intérieur de laquelle son chemin

pourra être une courbe quelconque) sera (fig. 26) l'angle T_1PT_2 tangent extérieurement à la circonférence abordable et donné par la formule $\sin\frac{A}{2} = \frac{V}{V_1}$ qui est toujours plus petit que 180°, puisque nous avons pris $V < V_1$.

Quant à la *direction du cap*, c'est-à-dire la direction qu'il faut donner au ballon pour aboutir en un point tel que Q, par exemple, elle sera P'Q, la direction du ballon sur le sol, c'est-à-dire le chemin réel parcouru, étant PQ, et l'*angle de déviation* φ, c'est-à-dire l'angle du chemin réel parcouru avec la direction du vent, étant QPP'.

On voit en outre que le chemin maximum que le ballon pourra parcourir dans l'unité de temps sera $Pm' = V + V_1$.

Le chemin minimum $Pm' = V_1 - V$; enfin, que la déviation maxima est l'angle $M_1PP' = M_2PP'$ ou la moitié de l'angle abordable, cette déviation étant obtenue quand les directions du cap sont $P'M_1$ et $P'M_2$, c'est-à-dire perpendiculairement à la route réelle.

2e Cas. — (*b*) Supposons maintenant que la vitesse du ballon soit égale à celle du vent et posons :

$$V = V_1.$$

La circonférence des points abordables au bout de l'unité de temps passera par le point de départ P, l'angle abordable P_1PP_2 sera de 180°, car, dans ce cas,

$$\sin\frac{A}{2} = 1$$

et l'angle de déviation maximum sera de 90°. La moitié de l'horizon sera ouverte à l'aérostat.

3e Cas. — (*c*) Supposons enfin la vitesse V du ballon plus grande que celle du vent et posons :

$$V > V_1.$$

Le point de départ P du ballon est à l'intérieur de la circonférence des points abordables (fig. 27) et le ballon

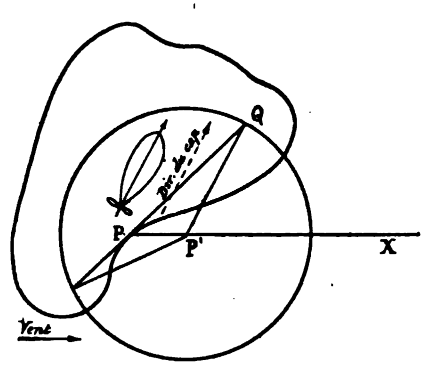


Fig. 27.

pourra atteindre tous les points de l'horizon, c'est-à-dire pourra suivre dans sa marche *une courbe fermée quelconque.*

La direction du cap sera toujours P'Q, le chemin réel parcouru étant toujours PQ et la vitesse minima $V - V_1$.

La condition d'une direction complète dans tous les sens est donc celle-ci :

Il faut munir le dirigeable d'un moteur et d'un propulseur capables de lui donner une vitesse propre supérieure à celle du vent. Tout le système deviendra un navire véritable ou un aéronat (1).

Pour déterminer la valeur absolue à donner à cette

(1) La terminologie choisie par le Congrès aéronautique tenu à Paris pendant l'Exposition de 1889, sous la présidence de M. Janssen, est celle-ci :

Un ballon ordinaire, non dirigeable, est appelé *aérostat*.

Un ballon dirigeable plus léger que l'air : aéronat.

Un appareil d'aviation plus lourd que l'air (sans gaz) : aéronef.

Enfin l'aéronef à plusieurs hélices est appelé hélicoptère, et celui formé de plans de sustentation et de plusieurs hélices à axe vertical est appelé aéroplane. Toutefois ces expressions ne sont pas rigoureusement suivies, car on appelle souvent un dirigeable : aéronef.

vitesse, il faut connaître, au moins approximativement, le régime des vents dans le parcours présumé du ballon.

Voici les chiffres déterminés par des observations scientifiques :

A Paris, à 100 mètres de hauteur au-dessus de la Seine, la vitesse ne dépasse pas 10 mètres par seconde 708 fois sur 1.000 et 12 mètres par seconde 815 fois sur 1.000. Si l'on peut donner à un ballon une vitesse propre de 10 mètres par seconde, on pourra donc, dans la région parisienne, naviguer 7 fois sur 10 contre le vent ; et avec 12 m. 50 par seconde, on pourra naviguer 8 fois sur 10. Avec 20 mètres par seconde, on pourra se diriger à son gré contre n'importe quel vent, sauf en cas d'ouragan.

Cette vitesse du vent varie aussi suivant les hauteurs, et il existe des *courants* dont les différences de vitesse sont assez grandes.

A 300 mètres on remarque que la vitesse se rapproche de celle obtenue sur les hautes montagnes.

L'anémomètre-cynémographe enregistreur, construit par la maison Richard, qui est situé à 303 mètres du sol, près de la coupole de la Tour Eiffel, a donné les indications suivantes :

Pour 101 jours d'été, la vitesse moyenne est de 7 mètres par seconde. Sur 2.516 heures d'observations comptées dans cette période, on trouve :

986 heures ou 39 o/o supérieure à 8 m. par seconde,
523 heures ou 21 o/o supérieure à 10 m.

La connaissance de ces valeurs présente un très grand intérêt pour la locomotion aérienne, et la table suivante donne la probabilité des vents pour notre région.

Le but à atteindre est donc déterminé : une vitesse de 20 mètres maximum ou à défaut une vitesse d'au moins 10 mètres, soit 36 kilomètres à l'heure. Ce n'est pas excessif. Tel est le problème débarrassé des conceptions vagues dont on l'avait entouré.

Mais à ces vitesses, l'étoffe ou l'enveloppe sera-t-elle assez solide pour résister aux pressions contre lesquelles elle aura à lutter?

Vitesse du vent en mètres par seconde.	Vitesse du vent en kilom. à l'heure.	Probabilité en millièmes d'avoir un vent à une vitesse plus faible que la vitesse inscrite.
2m50	9 km.	109
5	18	323
7.50	27	543
10	36	708
12.5	45	815
15	54	886
17	63	937
20	72	963
22	81	978
25	90	986
27	99	991
30	108	995
32	117	996
35	126	998

Il faudra évidemment trouver une solution, car cette pression croît comme le carré de la vitesse et comme elle est déjà de 135 grammes sur un mètre carré, avec un vent de 1 mètre à la seconde, on peut former le tableau suivant :

Vitesse du vent par seconde.	Pression exercée sur 1 m² de surface.
1m	0k135
2	0.540
4 (brise)	2.160
6	4.860
8 (forte brise)	8.64
10 (36 kilom. à l'heure)	13.500
12	19.440
16 (vent très fort)	34.560
20 (72 kilom. à l'heure)	54.000
24 (tempête)	77.760
30 (violente tempête)	122.220

A la vitesse de 10 mètres, la pression par mètre carré de surface est déjà de 13 kg. 500 ; et à 20 mètres elle est de 54 kg.

En examinant ces chiffres on est immédiatement tenté de croire que les appareils plus lourds que l'air fourniront la vraie solution, l'aviation prenant la suite du plus léger que l'air, de l'aérostation.

Nous sommes cependant encore loin de cette suite à prendre, car l'aviation a tellement peu progressé depuis et malgré le fameux manifeste de Nadar (1), qu'il est difficile de se prononcer.

(1) En 1863, l'aéronaute-photographe Nadar, frappé des échecs de toutes les tentatives de navigation aérienne à l'aide des ballons, n'hésitait pas à publier dans la *Presse*, du 7 août, un manifeste devenu célèbre dans l'histoire de l'aéronautique.

Véritable chef-d'œuvre de verve et d'entrain, ce manifeste commençait par ces mots : Ce qui a tué, depuis quatre-vingts ans tout à l'heure qu'on la cherche, la direction des ballons, ce sont les ballons.

Tous les journaux du monde reproduisirent l'œuvre de Nadar qui causa une sensation énorme. Basé sur un paradoxe qu'on avait essayé d'ériger en axiome, il contenait la phrase éminente : « Pour vaincre l'air, il faut être plus lourd que lui ».

Deux jours après sa publication, l'académicien Babinet vint apporter son précieux concours au triumvirat hélicoptéroïdal composé de Nadar, de Ponton-d'Amécourt et du romancier G. de la Landelle. Il fit même dans le grand amphithéâtre de l'Ecole de médecine, devant une foule considérable, une conférence sur les nouveaux appareils de navigation aérienne, basés sur le principe du plus lourd que l'air. Le même académicien écrivait dans le *Constitutionnel* quelques jours après : « Généralement toute question bien posée est plus qu'à moitié résolue quand elle ne contrarie aucune des grandes lois de la nature, lois de mécanique, lois de physique, lois de chimie et lois de physiologie. Or la navigation aérienne ne contrarie aucun de ces Codes. Elle est donc possible ».

« MM. Nadar, de la Landelle et d'Amécourt ont entrepris à grand bruit la solution de cette belle question, savoir : de faire une machine à hélice qui puisse enlever un homme et le soutenir indéfiniment dans les airs, enfin de lui permettre de se mouvoir jusqu'à un certain point dans le sens et vers le but désiré. Or c'est ce que je maintiens d'une exécution infaillible... »

On se rappelle comment se termina cette belle résolution en faveur de l'aviation. Plutôt que de créer une société financière, Nadar, avec son tempérament d'artiste, préféra demander à l'aérostation de quoi la tuer. Il fondit d'abord le journal l'*Aéronaute* (de 1863 à 1864 — cinq numéros ont paru) et résolut de construire un immense ballon et de chercher dans la curiosité publique les fonds néces-

Mais si l'on voit clairement le but à atteindre, on est moins bien fixé sur les moyens qui doivent sûrement y conduire.

Pour découvrir ces moyens, examinons les conditions spéciales dues à la nature du milieu et aux propriétés du mobile qu'on veut y déplacer.

Le milieu est un fluide isolé, c'est là précisément ce qui distingue la navigation aérienne de la navigation maritime, à laquelle on ne saurait l'assimiler. Tandis que le bateau se meut dans un plan horizontal, le ballon est soumis à une perpétuelle instabilité verticale qui

saires pour la construction du premier aéronef à vapeur. Le ballon *Le Géant* fut donc construit aux frais du spirituel photographe aidé par différentes souscriptions. Il accomplit plusieurs voyages, dont l'un très dramatique de Paris à Hanovre, et terminé par un épouvantable traînage. Mais loin de constituer des rentes à l'aviation Nadar se ruina plutôt.

Une société d'encouragement pour la locomotion aérienne au moyen d'appareils plus lourds que l'air, dont les statuts ont paru dans l'*Aéronaute* du 13 septembre 1864, fut aussi fondée, mais il va sans dire qu'elle disparut peu de temps après.

Pendant ce temps se fondait aussi une autre société sous les auspices de A. Charvin : la Société française des Aéroscaphes, dont la brochure intitulée *Navigation aérienne par les aérostats*, critiquait fortement l'apôtre de l'aviation et ses partisans, mais se rapprochait beaucoup plus de la réalité. Cela ne l'empêcha pas de sombrer sans avoir rien montré d'intéressant.

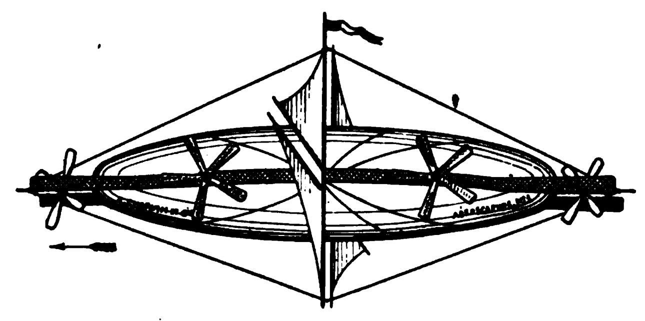


Fig. 28. — Aéroscaphe Charvin, d'après une gravure de la « Science pour tous » de 1864.

complique singulièrement les effets de la propulsion. En outre, l'incompressibilité de l'eau est favorable à la mise en œuvre du propulseur, tandis que l'hélice aérienne mord dans un milieu d'une désespérante mobilité.

Légèreté du moteur. — Puisque le but à atteindre est très visible, le moyen d'y arriver est de développer un grand nombre de chevaux sur l'arbre du propulseur.

Mais comme le ballon demande au moins 1 mètre cube par kilogramme à enlever, on s'aperçoit, dès qu'on établit un projet de dirigeable, qu'il est nécessaire d'obtenir la force à un poids extrêmement faible. Ainsi la condition qui domine le problème est l'utilisation d'un moteur à la fois puissant et léger, et si l'on considère (ce qui va être établi plus loin) que le travail à développer varie sensiblement comme le cube des vitesses, on conçoit la nécessité absolue d'avoir le moteur léger et puissant, mais encore de réduire à leur minimum les résistances à l'avancement.

C'est la question que nous allons aborder la première.

CHAPITRE II

RÉSISTANCES A L'AVANCEMENT

La construction *méthodique et rationnelle* des carènes et des hélices aériennes n'est pas chose facile, elle implique la connaissance complète des lois de la résistance de l'air.

Ces lois ont un puissant intérêt soit que l'on veuille utiliser ces résistances dans les appareils où le vent est employé comme moteur, soit qu'on veuille s'y soustraire comme on doit le faire dans tous les appareils et toutes les machines de locomotion atteignant une grande vitesse.

La diminution de la résistance de l'air intéresse les trois genres de locomotion : aérienne, sur terre (1) et sur mer. Evidemment les deux premières sont les plus intéressées à cause des grandes vitesses.

Malheureusement, l'état actuel de nos connaissances en Aérodynamique sur la constitution des fluides, ne

(1) Pour les chemins de fer, MM. Villemain, Gerebhardt et Dieudonné ont indiqué la formule :

$$R = \frac{K}{1000} SV^2.$$

R est la résistance en kgm.;
S la surface de front en mètres carrés (5 m^2 environ);
et V la vitesse en kilomètres à l'heure.
K est un coefficient qui a une valeur de 2,5 pour les trains omni-

permet pas d'établir la théorie mathématique des phénomènes qui s'y rattachent, et d'autre part, la voie expérimentale n'a pas donné jusqu'ici des résultats suffisamment complets.

Nous allons donc passer en revue les principaux résultats et en discuter leur valeur.

Généralités sur la résistance de l'air

On peut, en général, classer les problèmes sur la résistance de l'air en trois catégories :

1° La mesure de la résistance de l'air au mouvement rectiligne des plans minces normaux ou obliques au courant aérien relatif ;

2° La résistance des carènes aériennes, en comprenant sous ce nom l'ensemble de corps de diverses formes qui constituent un navire aérien dirigeable ;

bus et 1.66 pour les directs et les express. On trouve ainsi que le travail absorbé par la résistance de l'air dans un express marchant à 80 kilomètres est d'environ 60 chevaux. M. Ricour constate expérimentalement l'influence de la surface de front. Enfin, d'après les expériences récentes de M. Desdouits, ingénieur des chemins de fer de l'Etat, la locomotive qui reçoit directement le choc de l'air absorbe à elle seule, pour un express marchant à 72 kilomètres, un travail effectif de 160 chevaux, soit la moitié environ de la puissance utilisée. M. Desdouits a constaté que cette perte considérable est due pour plus des $\frac{2}{3}$ à l'influence de la vitesse et que la presque totalité de la résistance produite par la vitesse est imputable à la réaction de l'air ambiant (*Revue générale des chemins de fer*, 1890).

Pour les voitures automobiles, MM Boramé et Julien, ingénieurs conseils, prennent, dans leur tableau des efforts exercés tangentiellement à la roue motrice, l'expression :

$$R = SV^2 \times 0{,}0048.$$

0,0048 est un coefficient qui peut varier quelque peu et que l'on peut prendre pour simplifier les calculs, égal à 0,005.

Pour un bicycliste, et par un fort vent debout, avec les grandes vitesses que l'on peut obtenir sur une piste, la pression de l'air est au moins 10 à 12 fois plus forte que la résistance au roulement.

3° La puissance des propulseurs aériens.

Les recherches effectuées dans ce but ont été très nombreuses, et les expérimentateurs sont nombreux aussi. Nous citerons : Galilée, Newton, Borda, Euler, Hutton, d'Alembert, Dubuat, Poncelet, le colonel Duchemin, Piobert, le général Morin, Dupré, Didion, Thibaut, Goupil, Marey (1), le colonel Renard, Welner, Langley, etc.

L'extrême difficulté des problèmes d'Aérodynamique, qui pour être résolus, exigeraient des travaux continus et persévérants de plusieurs années, demanderaient aussi la création d'un grand nombre d'appareils précis en même temps que de grandes ressources.

Lois admises pour le déplacement orthogonal. — L'action de l'air, sur un plan en mouvement, a lieu sur toutes les surfaces.

En ce qui concerne les plans minces normaux, pour des vitesses ordinaires de la navigation aérienne, on admet aujourd'hui que les résistances sont proportionnelles au : 1° carré de la vitesse ; 2° à la surface du plan ; 3° au poids spécifique du fluide.

Ainsi, on emploie généralement la formule :

$$R = KdSV^2$$

pour calculer la résistance R au déplacement orthogonal dans laquelle K est un coefficient (qui doit être constant).

d représente la densité ou le poids spécifique du fluide.

S la surface plane.

V la vitesse.

La loi indiquée par Newton (proportionnalité de la résistance au carré de la vitesse), regardée pendant longtemps comme parfaitement applicable, n'est qu'appro-

(1) Le savant physiologiste a fait aussi de nombreuses et remarquables études sur le vol, études doublées d'expériences précises de grande valeur.

chée, elle est même inexacte pour certaines vitesses tant elle s'éloigne des observations et des résultats de certains expérimentateurs tels que Morin, Piobert, Duchemin, Langley, Renard, etc.

La loi véritable est beaucoup plus complexe car si l'on cherche à exprimer les résistances mesurées par une fonction de la forme $V^2 f(V)$, on trouve que la fonction $y = f(V)$ n'est pas représentée par une droite parallèle à l'axe des vitesses, mais par une courbe analogue à celle représentée par la fig. 29.

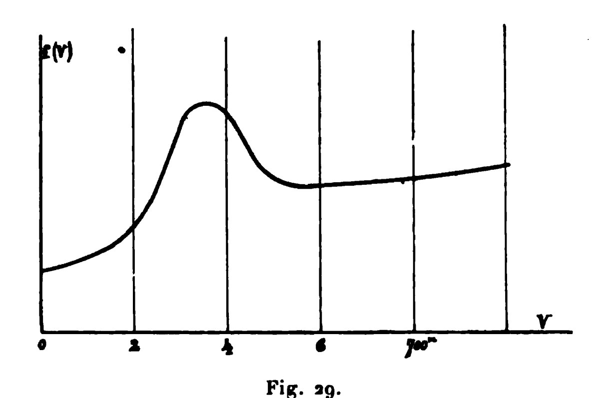


Fig. 29.

L'examen de la courbe $y = f(V)$ montre qu'on peut admettre la loi du carré de la vitesse en deçà de 100 mètres et au delà de 500 mètres, mais en choisissant pour K des valeurs différentes (R. Soreau) (1).

C'est Duchemin, qui le premier introduisit le coefficient $f(V)$; mais ses calculs, basés sur des considérations d'élasticité, l'ont conduit à une expression du premier degré qui ne saurait représenter les résultats des expériences. On a récemment émis l'hypothèse que $f(V)$ était le coefficient qui exprime la variation de la

(1) *Le problème de la direction des ballons*, par M. R. Soreau, Bernard, éditeur (1893).

densité produite par le passage du mobile. Cette hypothèse ne veut pas dire grand'chose puisque la masse d'air ne se comprime pas uniformément, que même elle se dilate comme nous le verrons sur la face antérieure du mobile ; en tout cas, cette explication n'apporte aucun renseignement sur la valeur de f (V).

D'ailleurs, d'après les expériences faites par M. Marey de l'Institut, il résulte clairement que la forme même de la surface a son influence particulière.

La loi de déviation des filets d'air et par suite la valeur de la résistance ne sont plus les mêmes pour les grandes et les petites surfaces.

Hutton et plus tard d'Aubuisson, Hervé-Mangon admirent une certaine proportionnalité par exemple de R à $S^{1,1}$.

Par son procédé, Marey constata que la pression avait une valeur sensiblement constante en tous les points du disque de son appareil (1), sauf vers les bords, où l'on trouve une sorte de perte marginale qui est évidemment plus sensible pour les plans de petite étendue ; à égalité de surface, cette perte a sa valeur minimum pour le cercle.

La formule $R = KdSV^2$ n'est donc pas exacte, et l'introduction d'un coefficient f (V), l'élévation de S à la puissance 1,1 ne rendent qu'imparfaitement compte des résultats d'expériences.

Pour exprimer cette loi, dont les phénomènes sont très complexes, il ne suffit pas de s'en tenir à des abstractions mathématiques, comme faisait Poncelet dans son volume *Introduction à la Mécanique industrielle.*

L'illustre géomètre admettait qu'une surface S, en effectuant dans l'air un parcours e à la vitesse V,

(1) L'appareil de M. Marey, spécialement construit pour ses essais, était entraîné par un manège.

imprimait cette vitesse aux molécules du cylindre Se, ce qui donne la relation :

$$\frac{1}{2}\frac{d}{g}SeV^2 = Re$$

D'où on tire :

$$R = \frac{d}{2g}SV^2.$$

Mais il faut reconnaître que cette formule suffit aux besoins ordinaires de la Mécanique industrielle.

Conditions physiques. — Pour entrevoir les lois vraies du phénomène, il faut se préoccuper des conditions physiques dans lesquelles il s'effectue.

Athanase Dupré, ancien recteur de l'Université de Rennes, dans sa *Théorie mécanique de la chaleur*, a développé quelques considérations qui éclairent ce côté de la question. En cherchant une erreur sur le rendement des moulins à vent, le professeur fut conduit à admettre qu'une surface plane frappée par un courant quelconque reçoit une pression au moindre repos que lorsqu'elle se déplace dans son propre plan.

Ce résultat semble étrange à première vue, et cependant quelque formule qu'on applique, R conserve la même valeur quand la surface se meut dans son plan, puisque d, S et V ne changent pas.

Il n'en est plus de même, si l'on cherche à se rendre compte du mode d'écoulement de l'air sur la surface. Prenons par exemple un disque AB au repos (fig. 30). Considérons deux molécules voisines destinées à passer l'une à droite et l'autre à gauche du disque ; elles doivent forcément se séparer en un point C. Il y a donc une masse d'air emprisonnée à l'avant, entre les filets tels que CA, CB ; cette masse, dans laquelle il se produit certainement des remous, transmet sa compression à la face antérieure. Les molécules écartées viennent se rejoindre à l'arrière, en un point D, mais leur passage plus ou

moins rapide produit une succion, un appel d'air, d'où une aspiration sur la face postérieure qui augmente la pression supportée à l'avant par le disque.

Ce dernier vient-il à se déplacer dans son propre plan ?

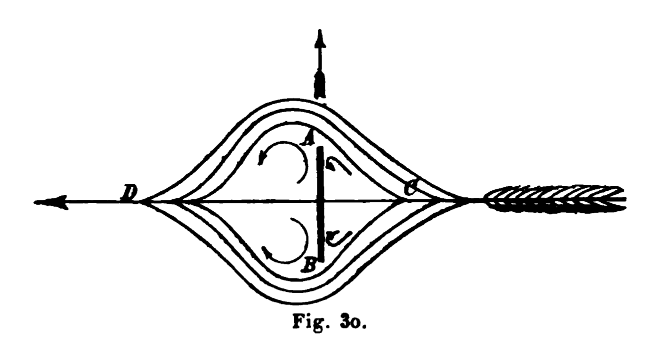


Fig. 30.

Par suite de ce mouvement de tiroir, la masse gazeuse emprisonnée à l'avant s'échappe, déterminant un appel direct, et, par suite une succion plus forte que précédemment ; l'aspiration sur la face postérieure augmente donc, et il en est de même de la pression sur la face antérieure qui reçoit le choc direct des molécules, puisqu'il n'y a pas de matelas d'air interposé. Le déplacement transversal augmente donc la pression pour ces deux raisons (R. Soreau).

Valeurs du coefficient Kd. — Des explications précédentes, il résulte clairement que la résistance dépend de la forme de la surface, et même pour une surface déterminée du rapport entre cette surface et la vitesse.

C'est précisément ce qui avait conduit M. Goupil, dans ses études et recherches sur la navigation aérienne, à imaginer une formule telle que celle-ci :

$$R = KdSV\sqrt{V^2 + S}$$

Il est certain que la formule exacte est beaucoup plus compliquée, il serait même dérisoire de vouloir l'exposer d'une façon rigoureuse.

C'est ce qui explique pourquoi les différents expérimentateurs, en adoptant la loi $R = KdSV^2$, aient obtenu pour Kd les valeurs les plus diverses, comme le montre le tableau suivant dans lequel la densité de l'air (d), a été prise égale à 1,293.

Noms des expérimentateurs.	Valeurs de kd ($d = 1.293$)
Poncelet (formule théorique)	0.067
Piobert	0.084
Morin	0.084
Goupil	0.13
Marey	0.13
Commandant Renard	0.085
Docteur Langley	0.08475
Cailletet et Collardeau	0.071

A l'Ecole d'aérostation de Chalais Meudon, on prit d'abord ce coefficient $Kd = \frac{1}{8}$ ou 0,125, en prenant pour unités le mètre, le mètre carré ou le kilogr.

Mais à la suite des travaux et des expériences du colonel Renard, cette valeur de Kd fut prise égale à 0,085, ce qui concorde bien avec les résultats obtenus par Piobert et Morin ainsi qu'avec les mesures habiles exécutées par le docteur Langley, en Amérique.

Marey et Goupil, dont les coefficients sont les plus élevés, 0,13, ne tinrent sans doute pas compte des pertes marginales et supposèrent que la pression aux différents points du disque était la même que la pression mesurée au centre.

Quant à MM. Cailletet et Collardeau, ils font remarquer que les coefficients obtenus avant eux résultent d'expériences dans lesquelles la surface est entraînée par un manège; l'air étant chassé par la force centrifuge, le fluide que traverse la surface est à chaque instant animé d'un mouvement transversal par rapport à celle-ci ; or les théories d'Athanase Dupré, vérifiées par

l'expérience, montrent que la résistance est plus grande que si l'air était au repos. Ces deux expérimentateurs ayant opéré en ligne droite, en s'installant sur la Tour Eiffel, estiment que leur coefficient doit être seul appliqué au déplacement orthogonal.

Résistance de l'air sur un plan qui fait un angle i avec sa trajectoire. — Lorsque le plan, au lieu de se mouvoir orthogonalement, fait un angle i avec sa trajectoire, la confusion est presque complète.

On a admis longtemps que la composante normale, ou la réaction N, au mouvement d'un plan mince oblique avec la direction de sa propre marche, était proportionnelle au carré du sinus de l'angle i, et on écrivait :

$$N = \varphi S V^2 \sin^2 i \qquad \text{et} \qquad \varphi = Kd$$

φ ayant la même valeur que Kd, (pour les plans normaux).

Cette loi du sinus carré n'est pas tout à fait vraie, d'abord parce que les expériences, même sur de petites surfaces, ne la confirment pas exactement; ensuite parce que sa démonstration suppose deux hypothèses qui ne peuvent être toujours admises, savoir : que le frottement de l'air sur la surface est nul, et que l'air agit toujours comme au premier instant de son contact avec le plan, c'est-à-dire qu'il n'y a ni remous, ni courants déterminés par la rencontre du corps, courants qui modifient l'action de l'air à son premier effet.

Quelques expérimentateurs, Borda et Pénaud, en particulier, ont pensé que la réaction N était proportionnelle au nombre des molécules qui frappent la surface, soit à sin i. Mais les résultats d'expériences sont en désaccord aussi bien avec la formule du sinus simple qu'avec celle du sinus carré.

Le colonel Duchemin (1) et Bossut ont indiqué la formule suivante :

(1) Recherches expérimentales sur les lois de la résistance des fluides. (*Mémorial de l'artillerie*, n° 5, 1842).

$$N = R\frac{2 \sin i}{1 + \sin 2\, i}.$$

Or $R = KdSV^2$ (formule admise pour le déplacement orthogonal).

Si on remplace R dans la formule précédente, on a :

$$N = KdSV^2 \frac{2 \sin i}{1 + \sin^2 i}.$$

Le D[r] Langley, après ses mémorables expériences faites en Amérique obtint des résultats n'excédant pas en moyenne de 2 o/o ceux donnés par la formule de Duchemin.

De Louvrié a aussi donné une formule qui est celle-ci :

$$\frac{2\,(1 + \text{eos}\, i \sin i)}{1 + \cos i + \sin i}$$

En Allemagne et en Angleterre, on emploie couramment la formule de Raleigh modifiée par Gerlach :

$$\frac{(4 + 16) \sin i}{4 + 16 \sin i}$$

Pour l'eau, on adopte à l'Ecole du Génie maritime, la formule de l'ingénieur des Constructions Navales Joëssel.

$$\frac{\sin i}{0{,}39 + 0{,}61 \sin i}$$

qui résulte d'expériences faites sur un plan de 30 × 40 centimètres. Ce plan, comparable à celui de Langley, a donné des résultats approchant de beaucoup ceux obtenus pour l'air.

Les graphiques 1 et 2, tirés du Mémoire de M. Soreau, en réponse aux Remarques de M. de Bruignac (1) montrent jusqu'à quel point les formules (2) de Newton et

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* (mars 1898).

(2) Les résistances à l'avancement R, sont remplacées par les pressions totales N sur le plan. L'ancienne loi de Newton était : $N i = N_{90} \sin^2 i$.

d'Euler (sinus carré et sinus simple) s'éloignent des lois de Duchemin et de Joëssel.

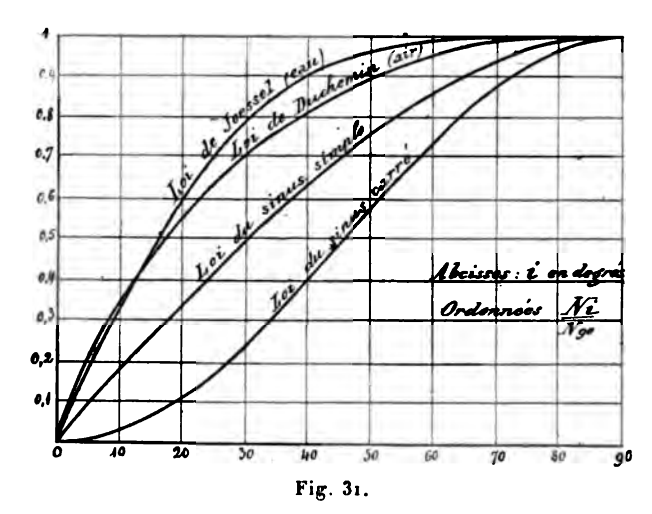


Fig. 31.

Le graphique 2 montre les expériences de Langley sur des plans de même surface, mais d'allongements différents.

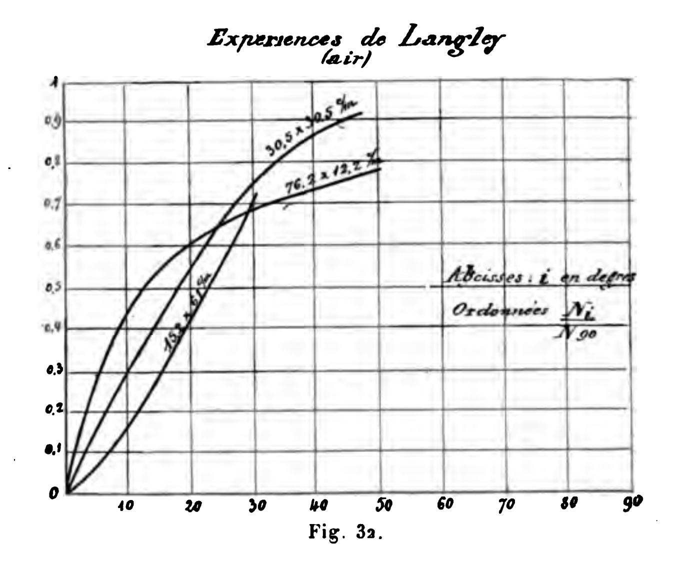


Fig. 32.

Ainsi la pression totale sur un même rectangle varie beaucoup suivant que les lignes de plus grande pente sont parallèles au grand ou au petit côté, ce qu'aucune formule n'a mis en évidence jusqu'ici ; pour certaines inclinaisons, la valeur $f(i)$ varie du simple au double. Cela tient à ce que le mode d'écoulement dont il faut toujours tenir compte n'est plus le même dans les deux cas (R. Soreau).

La discussion approfondie des travaux de Vince, Hutton et Thibaut, conduisit le colonel Renard à prendre la formule suivante :

$$N = R\,[a \sin i - (a - 1) \sin^3 i]$$

ou :

$$N = \varphi SV^2\,[a \sin i - (a - 1) \sin^3 i]$$

a étant un coefficient plus grand que 1, probablement égal à 2.

L'éminent ingénieur M. R. Soreau (1) a fait aussi des recherches sur l'influence de l'allongement des plans (2). A la suite d'études délicates, guidées par des considérations théoriques, il a trouvé une formule qui synthétise, avec une grande approximation, les résultats des expériences de M. Langley, relatives à la pression N_i qui s'exerce sur des plans d'allongements différents quand ils se déplacent en faisant un angle i avec leur trajectoire; en désignant par $2\,h$ le côté du plan qui est dans le mouvement, par $2\,l$ le côté perpendiculaire au déplacement et en posant $m = \frac{l-h}{l+h}$, on a:

$$\frac{N_i}{N_{90}} = \sin i \left\{ 1 + \frac{1 - m\,tg i}{\frac{1}{(1+m)^2} + 2\,m\,tg i + 2\,tg^2 i} \right.$$

(1) M. Soreau a exposé les formules qui suivent dans sa brillante communication sur la *Navigation aérienne*, faite le 2 mai à la Société des Ingénieurs civils.

(2) Ses expériences ont été faites il y a quelques années, à Argenteuil, dans la Seine, sur des plans ayant des allongements très divers.

pour le plan carré, $m = o$, et l'on retrouve la formule de Duchemin.

En ce qui concerne le point d'application de N_i, on n'avait, jusqu'ici, que les expériences de Joëssel sur le déplacement des plans dans l'eau, et la formule de Joëssel était manifestement inexacte pour les plans notablement allongés.

Dans le cas du plan carré, la formule se simplifie et devient :

$$\frac{y_i}{h} = \frac{1}{2(1 + 2\,tgi)}$$

y_i étant la distance du centre de pression au centre de figure. Il est remarquable que cette formule avec un plan se mouvant dans l'eau donne, avec une approximation presque parfaite, les résultats obtenus par le D[r] Langley sur un plan de dimensions beaucoup plus petites qui se déplaçait dans l'air.

Le choix entre ces formules a une grande importance en aviation, comme nous allons le voir.

Dans ses théories sur le vol des oiseaux, Navier (1), admettant que la sustentation était produite par les battements orthogonaux des ailes, évalua à 1 cheval le tra-

(1) *Mémoires de l'Institut* (1829). L'académicien Navier disait qu'une hirondelle de 164 grammes dépense, pour se soutenir immobile dans l'air, un travail égal à son poids élevé à 8 mètres par seconde, que ce travail est 50 fois plus grand quand elle vole à raison de 15 mètres par seconde, ce qui représente $\frac{1}{13}$ de cheval vapeur.

Il ajoute que dans le premier cas elle donne 1.380 battements d'aile par minute et dans le second 2.100.

Il est bien certain que Navier n'avait pas compté ces battements. Ils se trouvaient dans ces calculs. Plus sincèrement encore, il n'avait jamais regardé voler une hirondelle ni un oiseau quelconque, sans quoi il aurait remarqué que le battement des ailes, dans le vol stationnaire, ne dépasse guère 5 à 6 coups par seconde.

L'erreur de Navier a été reprise et discutée par M. de Louvrié, dans l'*Aéronaute* de 1868 et 1869.

vail de 13 hirondelles. Il va sans dire que cette évaluation est dérisoire à première vue. Les calculs de Navier sont donc la condamnation de la théorie dite orthogonale qui, cependant, conserve encore quelques adeptes malgré les objections qu'on peut lui opposer (1).

Les autres expériences sur le vol faites par Pénaud, par M. Drzewiecki, par le colonel Renard, par Marey, ont amené les expérimentateurs à considérer les ailes comme des surfaces traînées dans l'air sous un angle i très petit ; les battements n'ont pour but que d'entretenir la vitesse horizontale, grâce surtout à la pointe de l'aile qui constitue un excellent propulseur ; celui-ci agit à la façon de la corde des cerfs-volants et produit la sustentation par la réaction du courant d'air relatif en dessous des ailes.

Or, quand on applique le calcul au vol ainsi considéré, on trouve que la loi du sinus carré donne pour le travail une expression indépendante de l'angle i, qui est précisément celle de Navier.

Si cette loi était vraie, on pourrait poser l'ancienne équation :

$$N = \varphi S V^2 i^2$$

qui montre que les oiseaux ne pourraient pas voler.

L'analyse du vol, ainsi compris, donne un travail de sustentation égal à :

$$\sqrt{\frac{P^3}{\varphi S}}$$

(P est l'effort), c'est-à-dire constamment le même que si

(1) Cette théorie ne rend pas compte de la nécessité qu'éprouvent tous les oiseaux à acquérir, par le saut ou la course, une vitesse sans laquelle il leur est impossible de voler. La capture de certains oiseaux, tels que le Condor en Amérique du Sud et l'Outarde en Russie, est basée sur ce fait ; dans nos campagnes, on emprisonne souvent des geais dans une cage sans couvercle, faite avec des piquets plantés en terre (R. Soreau).

l'oiseau se servait de ses ailes en les abaissant orthogonalement.

Ainsi, pour un vautour de 10 kg., ayant 1 mètre carré de surface alaire, on trouverait un travail de sustentation de 90 kg., ce qui est invraisemblable.

Mais avec la loi des petits angles représentée par :

$$N = 2\varphi SV^2 i$$

le travail de sustentation devient :

$$\sqrt{\frac{\alpha P^3}{2\varphi S}}$$

c'est-à-dire qu'il tend vers O avec i.

L'oiseau pourrait donc se soutenir presque sans travail, s'il diminuait convenablement l'angle d'attaque de l'air sous le plan sustentateur. Il faut bien qu'il en soit ainsi puisque certains oiseaux traversent les mers sans se reposer, et il n'est pas douteux que le travail musculaire qui peut être momentanément très considérable, à l'essor, par exemple, est excessivement faible en cours de route.

En tous les cas cette loi paraît trop absolue, elle est forcément modifiée par l'intervention d'une résistance à l'avancement qui donne lieu à un travail de la forme $\varphi\delta V^3$, δ étant la surface plane normale équivalente à l'ensemble des résistances longitudinales.

Dans sa Communication de janvier 1889, à la Société Française de Physique, le commandant Renard, ayant étudié ces lois, arrive à déterminer le minimum du travail par la formule :

$$\frac{P}{2\varphi SV^2} = 3\varphi\delta V^3$$

qui montre que, dans ce cas, le travail de sustentation est égal au triple du travail de progression.

Ce qui précède infirme la loi du sinus carré mais ne confirme nullement aucune des autres lois. Il est même

certain que ces lois ne représentent pas fidèlement la réalité et que le facteur en *i* dépend aussi de la forme de la surface ; ainsi, pour un ruban allongé (transversal) dans le sens des ailes d'un oiseau (fig. 33), ce facteur se

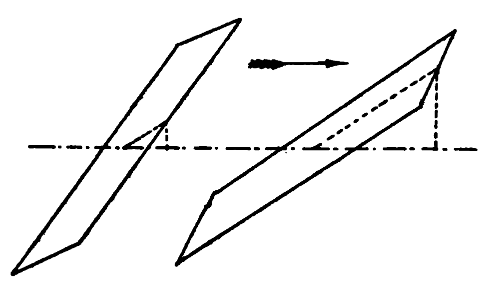


Fig. 33.

rapproche de la *loi du sinus simple* ; *il est à peu près égal au sinus carré* pour un ruban longitudinal (1). Aucune des formules données plus haut ne rend compte de ces particularités et ne sont donc pas rigoureuses.

Recherches faites pour séparer la pression à l'avant et l'aspiration à l'arrière (2). — Athanase Dupré, dans ses expériences sur la résistance de l'air, a tenté le premier de rechercher quelle part revient à la compression sur

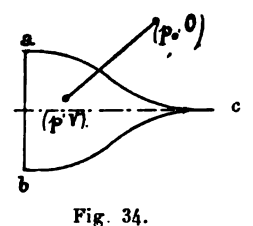


Fig. 34.

la face avant et à l'aspiration sur la face arrière, dans la pression totale supportée par un plan.

(1) Commandant Renard.

(2) Emprunt fait au mémoire de M. Soreau (1893), Bernard, éditeur.

Il fit à peu près le raisonnement suivant :

Supposons une masse d'air à la pression p_0 dans laquelle se déplace orthogonalement une surface S avec une vitesse V. Le recteur de l'Université de Rennes considérait qu'à partir de l'instant où le régime d'écoulement est établi, il y avait équilibre entre le gaz *abc* emprisonné sur la face antérieure (fig. 34) qui prenait par conséquent la vitesse V, et la partie de l'air demeurée immobile.

Or l'académicien Navier a établi que deux molécules d'une même masse gazeuse ont des vitesses v_1 et v_2 qui s'expriment en fonction de leurs pressions respectives p_1 et p_2 par la formule :

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2g\,p_0}{d}\,\frac{T}{273}\log \text{nep.}\,\frac{p_1}{p_2}$$

en supposant toutefois que la résistance du plan ne modifie pas la température de la masse fluide. Les hypothèses de Dupré et de Navier combinées donnent pour la pression p' du gaz sur la surface antérieure :

$$p' = p_0\,e^{bv^2}$$

avec :

$$b = \frac{d}{2g\,p_0}\,\frac{273}{T}.$$

Par suite la pression sur la face antérieure, qui est p_0S au repos, devient :

$$p_0S\,e^{bv^2}.$$

Pour voir l'effet de cette pression à l'avant, supposons que tout l'air, avant et arrière, garde la pression p_0.

L'avant subit une pression $p_0S\,e^{bv^2}$; l'arrière une pression moindre p_0S : il y a donc du côté de la face antérieure une compression $p_0S\,(e^{bv^2} - 1)$ qui résiste à l'avancement.

On verrait de même que la face arrière supporte une pression $p_0S\,e^{-bv^2}$. En supposant encore, pour voir l'effet

de cette pression, que tout reste en l'état à l'avant, il en résulte, puisque $e^{-bv^2} < 1$, qu'il existe à l'arrière une aspiration $p_0S(1 - e^{-bv^2})$ qui concourt à augmenter la résistance à l'avancement.

La résistance totale est donc :

$$R = p_0S(e^{bv^2} - 1) + p_0S(1 - e^{-bv^2})$$
$$= p_0S(e^{bv^2} - e^{-bv^2}).$$

Le premier terme $p_0S(e^{bv^2} - 1)$ représente la compression à l'avant ;

Et le second terme $p_0S(1 - e^{-bv^2})$, l'aspiration à l'arrière.

D'après cette théorie, la résistance $a'b'$, due à l'aspira-

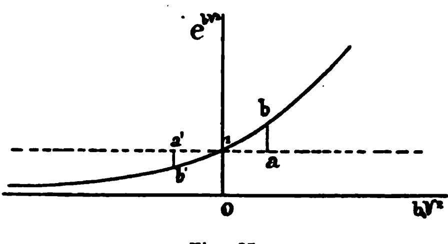


Fig 35.

tion, serait inférieure à la résistance ab, due à la compression (fig. 35), mais en différerait peu aux faibles valeurs de bV^2 qui intéressent précisément la direction des ballons. Aux très grandes vitesses, au contraire, l'aspiration serait négligeable devant la compression.

Or les grandes vitesses ne sont pas faciles à atteindre, à cause d'un grand nombre de considérations dont la vue est presque immédiate.

Malheureusement, cette théorie prête beaucoup à la critique. Il est bien évident que la pression de l'air ne peut passer brusquement de la valeur p_0 à la valeur p' en franchissant la ligne abc, elle varie graduellement d'une molécule à l'autre, de sorte qu'il faudrait avoir

des données moins sommaires sur la constitution des fluides pour exposer clairement la théorie mathématique des phénomènes considérés. De plus, la déduction d'après laquelle l'aspiration à l'arrière serait toujours plus petite que la compression à l'avant est en désaccord avec les idées d'esprits éminents comme d'Alembert et peut-être comme Dupré lui-même qui n'avait pas vu cette conséquence de son raisonnement.

Il est facile de voir que les hypothèses précédentes sont incomplètes dès qu'on veut appliquer le même procédé d'analyse au cas d'une surface faisant l'angle i avec la direction du mouvement.

Un membre correspondant de l'Académie des sciences, le commandant Vallier, s'est contenté de remplacer dans la formule de Dupré la vitesse V par la composante V sin i normale au plan. Cette manière de procéder n'est pas justifiée, car si même on suit le raisonnement de Dupré, on trouve que les molécules emprisonnées devant le plan oblique et par suite entraînées avec la vitesse V exercent à l'avant une pression $p_0 S\, e^{bv^2}$ normale au plan ; il s'ensuit que la résistance à l'avancement serait $p_0 S\, e^{bv^2}$ sin i. De même la résistance à l'arrière serait $p_0 S\, e^{-bv^2}$ sin i, de sorte que la résistance au déplacement oblique égalerait la résistance au déplacement orthogonal multiplié par sin i : c'est la loi du sinus simple donnée par Borda.

Quoi qu'il en soit, pour résumer les différentes théories émises, malgré que l'on soit peu fixé sur la loi du déplacement orthogonal, on peut employer la formule :

$$R = KdSV^2$$

pour les vitesses qui intéressent la locomotion aérienne. Quant à la loi du déplacement oblique on l'ignore complètement jusqu'ici ; il convient donc de considérer les différentes loi énoncées comme de simples formules empiriques (R. Soreau).

Évaluation de la résistance à l'avancement

On peut dire, avant de traiter cette question, qu'il est très difficile, pour ne pas dire impossible, d'évaluer avec certitude la résistance à l'avancement des carènes aériennes.

Le savant ingénieur de la marine, Dupuy de Lôme, avait évalué la résistance de son dirigeable en appréciant séparément celle qu'éprouveraient les différentes parties. Il avait mesuré pour chacune d'elles la section maximum perpendiculaire à l'axe du ballon, puis calculé la résistance au déplacement orthogonal de ces sections et affecté ensuite les résistances obtenues de coefficients choisis d'après la nature et la forme des parties considérées.

C'est ainsi qu'il put dresser le tableau suivant :

Différentes parties du dirigeable.	Surface de la section maxima perpendiculaire à l'axe du ballon.	Résistance par m² à la vitesse de 2 m. 22	Coefficients de réduction.	Produits.
Ballon sans filet...	172 m²	0.665	1/30	3k830
Nacelle...........	3.25	»	$\frac{1}{5}$	0.432
Saillie du corps des hommes....	3	»	$\frac{1}{5}$	0.400
Tuyaux à hydrogène et à air...	6.40	»	$\frac{1}{5}$	0.850
Petit cordonnet des filets............	10	»	$\frac{1}{5}$	3.325
Cordes fortes des suspentes et des balancines......	9.90	»	$\frac{1}{3}$	2.194
	Résistance totale...................			11.031

Le rapport de la résistance totale à la résistance du maître-couple était donc $\frac{11,031}{30 \times 3,830} = \frac{1}{10}$ environ.

Ce rapport est voisin de celui que l'on emploie dans la marine pour calculer la résistance à l'avancement d'après celle qu'éprouverait le maître-bau, on prend en effet :

Pour un navire très fin, carène doublée en cuivre et propre $\frac{1}{15}$;

Pour un navire à forme pleine, avec carène mal entretenue $\frac{1}{9}$.

Suivant les évaluations de Dupuy de Lôme, la résistance du ballon proprement dit entre donc pour moins du tiers dans la résistance totale, alors que celle des cordages y entre pour moitié.

Au point de vue de la résistance, la forme et la longueur du filet sont donc au moins aussi importantes que celles du ballon et l'emploi d'un coefficient de réduction n'est possible qu'avec des ballons géométriquement semblables ou du moins ne différant que très peu les uns des autres.

On devrait donc, pour chaque projet de dirigeable, effectuer des calculs analogues à ceux de Dupuy de Lôme.

Mais, en raison de l'incertitude des divers coefficients à employer, il sera très utile de contrôler les chiffres obtenus par des mesures directes faites dès les premières ascensions ; les résultats corrigés pourront servir de base dans les projets ultérieurs.

C'est ainsi que les mesures faites à bord du ballon « La France » par MM. Renard et Krebs donnèrent des résistances supérieures à celles prévues.

Il n'y a pas de doute : les expériences effectuées à terre ne donneront presque jamais les mêmes résultats que

celles faites à de certaines hauteurs, dans des conditions de vitesses différentes.

Les mesures sont d'ailleurs difficiles à exécuter à cause du couple perturbateur dû à la traction et aussi à cause de l'instabilité verticale.

On est aussi porté à croire, avec juste raison, que les coefficients adoptés par Dupuy de Lôme doivent être trop faibles, en particulier le coefficient $\frac{1}{30}$ (pour le ballon).

D'autre part, la résistance par mètre carré inscrite dans la deuxième colonne du tableau de l'éminent ingénieur, varie proportionnellement à la densité de l'air et, par conséquent, suivant la loi de décroissance de la pression barométrique.

Or on évalue la résistance totale afin de déterminer l'effort de traction nécessaire pour obtenir une vitesse donnée. Mais cet effort diminue lui aussi avec la densité car l'hélice mord dans un milieu plus léger. On peut donc prendre dans les calculs, la pression atmosphérique à terre, puisque les dirigeables sont surtout faits pour évoluer à de faibles hauteurs.

Diminution des résistances à l'avancement

La diminution des résistances à l'avancement est obtenue d'abord par l'allongement du ballon dans le sens de la marche. C'est là une condition qui saute aux yeux à première vue tellement elle paraît naturelle.

L'énorme résistance d'un ballon sphérique doit faire abandonner, *a priori*, la forme sphéroïdale pour la forme allongée en fuseau.

Le général Meusnier (1), défenseur de Mayence, et Brisson l'avaient compris dès 1784. Comme on le verra

(1) Premier projet de direction des ballons.

plus loin, ils avaient adopté la forme allongée se rapprochant de l'ellipsoïde. Tous les aéronautes qui ont cherché à diriger leur aérostat ont fait de même.

Mais les effets de cet allongement ne se feront sentir que si l'étoffe est toujours parfaitement tendue, autrement des poches se formeront à l'avant, surtout au point où la résistance sera maximum, et l'air, au lieu de glisser sur l'étoffe, s'arc-boutera en quelque sorte contre le ballon, augmentant la résistance du simple au décuple, compromettant la stabilité et pouvant même étrangler l'enveloppe dans les mailles du filet si le dirigeable a beaucoup d'allongement et possède un filet.

Mais cette condition ne suffit pas. Il faut aussi une nacelle allongée dont les côtés soient absolument lisses. Si, comme cela a lieu généralement, le moteur est dans la nacelle, il faut aussi que l'ensemble ballon-filet-nacelle forme un tout rigide.

En effet, si l'axe de propulsion ne passe pas par le centre d'inertie (ce qui a toujours existé jusqu'alors), le travail variant quand les vitesses changent, il s'ensuit que la pointe avant se baisse ou se relève suivant qu'il y a ralentissement ou accélération. Si le système est rigide, cette baissée ou cette relevée se produit encore, mais avec moins d'effet.

Supposons que la proue se relève ; le dessous du ballon offre au courant plus de surface à l'avant et moins à l'arrière, le gaz se précipite vers la proue ; il y a déformation du système due à la variation de vitesse.

Tandis que si la liaison est rigide, si la permanence de forme est assurée, le système constitue une sorte de bloc et, comme le centre de gravité est toujours au-dessous du point d'application de la force ascensionnelle, il suffit de quelques oscillations pour éteindre ce mouvement de tangage.

Il va donc sans dire que le filet et la nacelle doivent concourir par leur forme et leur disposition à diminuer

les résistances à l'avancement. Il n'y a certainement aucune prescription à imposer à cet égard, mais il est très utile d'étudier les formes les plus convenables à leur donner.

Les résistances à l'avancement seront donc réduites à leur minimum lorsqu'on aura : 1° un ballon allongé, 2° une invariabilité de formes, 3° la rigidité du système, 4° l'équilibre vertical, enfin 5° une nacelle de dimensions convenables. Quant au filet, nous verrons plus loin que l'on tend à le supprimer dans la construction de nouveaux dirigeables. Nous allons examiner chacune de ces conditions en leur donnant les valeurs qu'elles comportent.

1) *Détermination de l'allongement à donner au ballon.* — On est tenté de croire que la diminution de la résistance est obtenue par le grand allongement du ballon. Examinons dans quelles limites il est prudent de se tenir.

Le tableau suivant montre d'abord quelles ont été les dimensions et l'allongement des dirigeables français expérimentés jusqu'alors.

Noms des expérimentateurs.	Longueur totale.	Diamètre maximum.	Allongement (par rapport au diamètre)
Giffard 1852	44 m.	12 m.	3.66
Giffard 1855	70	10	7
Dupuy-de-Lôme	36	14.84	2.43
Tissandier frères	28	9.20	3.04
Renard et Krebs	50.40	8.40	6
Santos-Dumont	33	6	5.5

Si l'on admet les chiffres de Dupuy de Lôme, on voit qu'en réduisant à zéro la résistance du ballon, on ne diminue la résistance totale que des $\frac{2}{7}$ environ, encore n'est-ce pas là un bénéfice réel, puisque le nombre des

suspentes et par suite la résistance due au filet augmente avec l'allongement.

Pour que la résistance due à l'allongement soit efficace, il faut qu'on réduise parallèlement la résistance de la nacelle et celle du filet, sans compromettre toutefois la rigidité et la stabilité de route.

Pour chaque projet de dirigeable, il est facile de se rendre compte qu'il ne faut pas dépasser une certaine valeur pour l'allongement.

Et ceci peut fort bien s'expliquer : considérons par exemple un disque dont la résistance au mouvement orthogonal est R_0 pour une vitesse V ; supposons que nous le munissions d'une proue et d'une poupe de longueur l et Kl, K étant une constante. En négligeant le frottement de l'air, il est clair que la résistance à l'avancement est une fonction $f(l)$ qui décroît constamment de R à zéro, quant l croît de zéro à l'infini. Mais il est

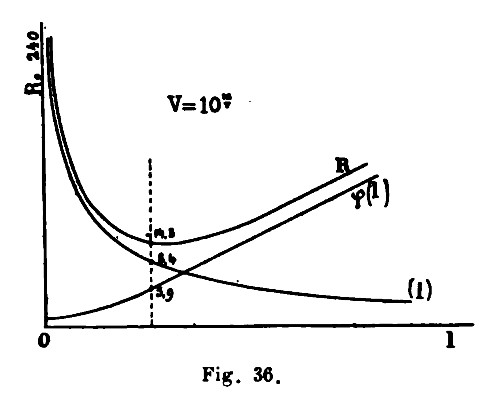


Fig. 36.

non moins évident que le frottement est une fonction φ (l) qui croît avec l et devient même proportionnelle à l à partir d'un certain allongement, de sorte que la résistance totale est une courbe à minimum, asymptote à la courbe du frottement (fig. 36).

Giffard l'avait prévu, car il a mis en évidence, dans un



de ses premiers brevets, les deux termes dont se compose la résistance ; il donne la formule suivante :

$$R = KSV^2 + h\Sigma V^2,$$

S étant la surface du maître-couple, Σ la surface latérale.

Cet inventeur génial indique que, pour un diamètre de 6 mètres, une longueur de 40 mètres et une vitesse de 10 mètres, on a :

$$K = \frac{0.045d}{2g} \text{ et } R = 14,3.$$

On en déduit :

$$f(6,66) = 8,4$$

et :

$$\varphi(6,66) = 5,9$$

avec :

$$R_0 = 0,085\ SV^2 = 240.$$

Telles sont les valeurs dont on s'est servi dans le tracé de la figure qui n'a évidemment d'autre prétention que celle de faire entrevoir l'allure de la loi.

Ainsi donc, pour une vitesse et un rapport de proue à poupe déterminés, il existe un allongement donnant le minimum de résistance.

Or, l'allongement a l'inconvénient de diminuer beaucoup la force ascensionnelle par unité de volume, de rendre la liaison avec la nacelle plus délicate, d'exagérer la résistance à l'avancement dès que se produisent des mouvements de tangage, même légers, et d'obliger à allonger la nacelle et de mettre un plus grand nombre de suspentes pour bien répartir les poids sur le ballon. De plus, pour la stabilité en général, il est nécessaire d'avoir une certaine colonne de gaz, c'est-à-dire un maître-couple d'un diamètre déjà intéressant. Dans ces conditions, on conçoit facilement qu'il y a avantage à ne pas atteindre la longueur l qui donne la résistance minimum.

Pour donner un chiffre, on pourrait prendre, par exemple, $l = 4$ à $5d$, l'allongement $= 4$ à 5 fois le diamètre.

$l = 4,5d$ nous paraît être la bonne moyenne.

2) *Invariabilité des formes.* — L'invariabilité des formes contribue, comme il est dit précédemment, à diminuer la résistance à l'avancement. Nous avons déjà montré pour quel motif et donné les raisons : des poches se formeront à l'avant par suite de la pression de l'air et empêcheront celui-ci de glisser sur l'étoffe, et compromettront la stabilité.

Pour maintenir l'étoffe parfaitement tendue, il n'y a — jusqu'à présent — que le seul moyen proposé et employé par Dupuy de Lôme (appliqué depuis) qui avait été imaginé par le général Meusnier (1), c'est l'emploi du *ballonnet compensateur à air.*

Dupuy de Lôme, réinventant le ballonnet à air de Meusnier, dont les mémoires étaient oubliés dans les archives de l'Ecole de Metz, divisa son ballon en deux compartiments à l'aide d'un diaphragme qui s'appliquait exactement sur la partie inférieure du dirigeable quand celui-ci était complètement gonflé.

L'air qu'on insuffle à l'intérieur, au moyen d'un ventilateur, dès que le ballon, pour une raison quelconque, devient flasque, en augmentant le volume du ballonnet, a du même coup pour effet de comprimer le gaz et de le forcer à tendre l'enveloppe, de cette façon l'invariabilité de formes est maintenue.

Un calcul simple permet de déterminer les dimensions à donner au ballonnet compensateur pour que le dirigeable, après s'être élevé à une hauteur déterminée, puisse être maintenu complètement gonflé jusqu'à l'atterrissage.

(1) Le projet du général Meusnier est décrit plus loin, dans la troisième partie de ce volume, page .

Soit p la pression de l'air à cette hauteur.

Le diaphragme est alors appliqué sur la calotte inférieure et l'hydrogène occupe le volume total V de l'aérostat. A la descente, le gaz se contracte et occupe un volume $\frac{V}{n}$ à la pression np.

Pour que l'enveloppe ne puisse pas devenir flasque, il faut évidemment que ce volume reste toujours supérieur au volume $V - v$ auquel se trouve réduite la chambre à hydrogène quand le ballonnet à air v est complètement gonflé.

On a donc :

$$\frac{V}{n} > V - v.$$

La valeur maximum de n a donc pour inverse :

$$\frac{1}{N} = 1 - \frac{v}{V}.$$

Or cette valeur maximum correspond à la pression P à terre ; et par conséquent il ne faut pas dépasser l'altitude pour laquelle la pression est :

$$p = \left(1 - \frac{v}{V}\right) P.$$

En prenant $\frac{v}{V} = \frac{1}{10}$, comme l'a fait Dupuy de Lôme, on en déduit par les tables barométriques que la hauteur maximum est d'environ 860 mètres.

Si on dépassait cette altitude, il faudrait abandonner trop d'hydrogène à la montée, et il y aurait alors à la descente, depuis une certaine hauteur jusqu'au sol, toute une région dans laquelle le ballon serait flasque.

La capacité à donner au ballonnet à air doit être environ le $\frac{1}{6}$ ou le $\frac{1}{8}$ du volume total du ballon.

3) *Rigidité du système.* — La rigidité du système dépend évidemment de la façon dont est maintenue la nacelle.

Dupuy de Lôme, le premier, comprit la nécessité de former une sorte de bloc de toutes les parties d'un dirigeable et pour arriver à ce résultat il employa le filet porteur et le filet de balancines.

Le principe de sa méthode est le suivant :

On relie chaque point P de la nacelle, non à un point unique (fig. 37) comme pour les ballons sphériques ordinaires, mais à deux points A et B choisis de telle façon que la verticale PV du point P soit toujours comprise à l'intérieur de l'angle APB. Quand ce système APB s'incline pour une cause quelconque, le poids de la na-

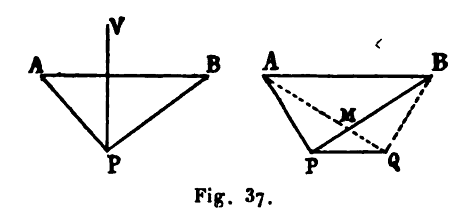


Fig. 37.

celle tend simultanément les deux cordages AP, BP ; et il est évident que le système possède dès lors la même rigidité que s'il était formé de barres métalliques solidairement rivées à leurs articulations.

Si P et Q désignent deux points placés aux extrémités de la nacelle, les suspentes extérieures AP et BP constituent le *filet porteur*, et les suspentes AQ et BP constituent le *filet des balancines*.

L'éminent ingénieur de la marine a magistralement exposé l'avantage de ces deux filets, dont la combinaison porte bien l'empreinte de son talent.

Cette disposition, malgré son grand avantage d'assurer une parfaite rigidité, a l'inconvénient d'alourdir l'ensemble, à cause de la quantité de cordes nécessaires, en même temps qu'elle offre plus de résistance à cause de ces mêmes filets.

Actuellement, on cherche à supprimer les suspentes

et le filet pour employer des suspentes en fil d'acier (1), dont la résistance à la rupture est extrêmement grande.

Mais il faut remarquer qu'un grand écartement de ces fils empêche la bonne répartition du poids sur la housse de suspension, en même temps qu'ils ne travaillent pas également lors de l'instabilité ou du changement de vitesse du ballon. Ces considérations ont une grande valeur et il est de toute nécessité d'y attacher beaucoup d'importance.

Il semble aussi avantageux de réduire la longueur des suspentes, toutefois cette réduction a des limites qu'il ne serait pas prudent de dépasser, car le rapprochement du ballon et de la nacelle peut compromettre la bonne tenue du dirigeable, ainsi que nous le verrons plus loin en étudiant la stabilité.

4) *Equilibre vertical.* — L'équilibre vertical est surtout désirable pour les dirigeables à faibles vitesses. Pour l'obtenir, il faut placer l'arbre de l'hélice autant que possible par le centre de résistance, car le couple perturbateur est supprimé et les mouvements de tangage tendent à disparaître avec une propulsion énergique.

Nous traiterons cette question avec plus de détails, car elle rentre dans l'étude de la stabilité verticale.

5) *Nacelle de dimensions convenables.* — Il va sans dire que la nacelle, par ses dimensions, ne peut qu'influer sur la résistance à l'avancement.

On ne peut trop imposer de conditions pour cette partie du dirigeable, néanmoins on devra tenir compte de certains détails et lui donner une forme convenable. D'autre part, il sera indispensable de garnir les côtés ainsi que le dessus et le dessous de toile lisse et sans aucun pli, et autant que possible ne rien laisser dépasser de cette nacelle. En procédant ainsi l'air glissera faci-

(1) Le diamètre de ces fils d'acier est très faible, M. Santos-Dumont a employé pour son dirigeable des fils de 1 millimètre.

lement le long des parois et la résistance sera diminuée. Quant à sa longueur, il y a avantage à la proportionner à celle du ballon, afin qu'elle participe au maintien de la forme ; il ne faut donc pas craindre d'avoir une nacelle ayant, par exemple, la moitié ou les $\frac{2}{3}$ de la longueur du ballon.

Influence de la forme à donner au ballon. Proues et poupes.

Quand un corps se meut dans un fluide, trois facteurs interviennent pour résister à son mouvement : 1° le frottement contre les surfaces ; 2° l'inertie du fluide ; 3° la pesanteur.

Le premier facteur, le frottement, varie avec la nature des surfaces, et il est très affaibli dans les corps créés par la nature pour se mouvoir dans les fluides, c'est-à-dire chez les poissons et les oiseaux.

L'inertie du fluide varie nécessairement avec la vitesse du corps : c'est encore elle qui s'oppose à la remise en place du fluide à l'arrière.

La pesanteur produit la pression à l'avant et s'oppose au déplacement du milieu.

Deux facteurs interviennent pour réagir à l'arrière du corps et faire reprendre au courant sa position première :

1° La réaction du milieu et par élasticité, qui tend à communiquer dans tous les sens la poussée qu'il a reçue ;

2° La pesanteur qui fait écouler le fluide dans le vide laissé par le corps en mouvement.

Mais la pesanteur n'intervient que dans une certaine limite, pour faire acquérir au fluide la vitesse transversale nécessaire à lui faire reprendre sa position, l'élasticité de l'air est aussi limitée, sa réaction n'est ni com-

plète, ni instantanée, surtout si le corps est animé d'une grande vitesse, il faudra donc un temps plus ou moins long pour que la masse puisse se refermer derrière le corps et si, pendant ce temps, *le corps a passé* il fera nécessairement le vide derrière lui, ou il traînera un volume fluide inerte plus ou moins considérable.

Plus sera grande la vitesse, plus le fluide sera rejeté

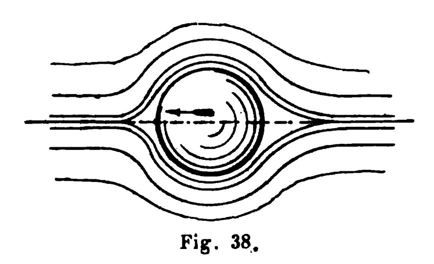


Fig. 38.

au large, et plus il aura d'espace à parcourir pour se remettre en place, par suite, plus volumineuse sera la masse fluide inerte remorquée par le corps, plus il y aura de *traînage* (fig. 38).

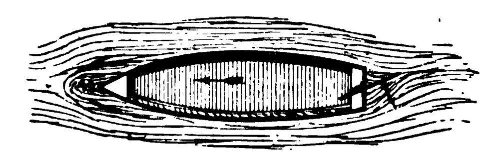


Fig. 39.

Si les vitesses sont faibles, un autre effet se produit; la majeure partie du fluide déplacé compose la couche frottante, sur les surfaces, ce qui réduit le courant de retour à l'arrière et augmente encore le traînage. Une vitesse plus forte met en mouvement un volume plus grand, duquel la plus grosse masse peut, en glissant sur la couche flottante, prendre la vitesse résultant de l'action

de la pesanteur et de la réaction du milieu, et réagir derrière le corps.

On peut donc poser un principe général tel que celui-ci : La réaction du fluide à l'arrière est sensiblement égale à l'énergie dépensée à l'avant, pour le déplacer.

Il reste maintenant à voir si cette réaction s'utilise ou non en faveur de la marche.

Pour réduire la résistance à la pénétration d'un corps dans un fluide, il faut, comme on a pu le voir dans ce qui précède, écarter ce fluide et le remettre en place avec le *moindre travail* : il faut donc chercher à utiliser sa réaction arrière. Il ne s'agit pas de refouler la masse à l'avant, mais de la déplacer transversalement et sans transition brusque de même pour la remise en place,

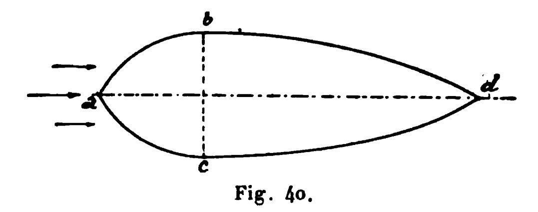


Fig. 40.

pour cela le mouvement transversal devra être uniformément accéléré, puis uniformément retardé, pour franchir la plus grande section du volume, appelé *grand maître-couple dans les navires*.

La fig. 40 montre la partie avant *abc* d'un corps (pouvant être assimilé à un vaisseau ou à un dirigeable) qui est appelée *proue* et la partie arrière *bcd* qui est la *poupe*.

Rôle de la proue. — Le rôle évident de la proue est donc d'écarter le fluide sans brusquerie (en même temps qu'il le frappe avec un certain angle), afin d'éviter l'emprisonnement de l'air et les remous qui en résultent.

Rôle de la poupe. — La poupe doit empêcher l'aspiration à l'arrière, en remplissant le vide partiel créé par

le passage de la proue, afin que la compression à l'avant ne vienne pas s'augmenter de l'aspiration sur la face postérieure(1) (fig. 41) ; il semble même que son rôle peut-être plus efficace encore, et qu'elle doit non seulement remplir le vide, mais encore pénétrer dans les veines

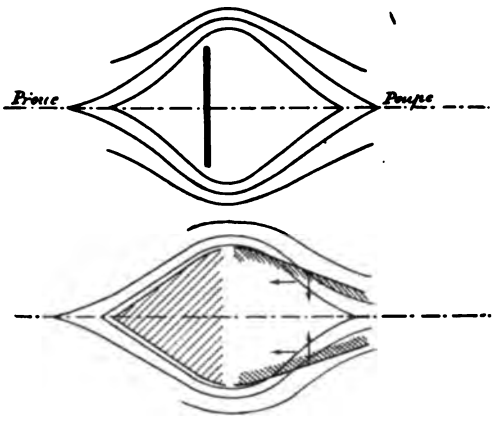


Fig. 41.

fluides en les coupant sous un angle convenable ; de cette façon elle se fait serrer comme le coin par les lèvres qu'il a écartées, elle provoque une composante dans le sens de la marche et récupère ainsi une partie du travail dépensé par la proue.

Il résulte donc de l'examen de ces rôles, que l'on peut sans crainte écrire ce principe : Tout corps en mouvement dans un fluide doit se transporter le gros bout à l'avant pour économiser la force motrice : c'est ce que confirme les observations faites dans la nature.

N'en est-il pas ainsi pour les poissons et pour les oiseaux, et n'est-il pas évident qu'il y a récupération presque totale pour les volateurs qui traversent les mers

(1) D'après les expériences de M. Erminger, faites il y a quelques années, l'aspiration à l'arrière serait supérieure à la pression avant pour des vitesses applicables à la navigation aérienne.

sans prendre le moindre repos? Comment expliquer autrement d'aussi longs parcours? Bien qu'aucune espèce animale ne puisse produire pour sa locomotion autant de travail que l'oiseau (1), ce travail ne peut être que très faible quand le vol est longtemps soutenu.

Il ne s'agit pas de copier servilement la nature, de même qu'il serait ridicule de ne pas tenir compte des enseignements qu'elle nous donne. Nous luttons contre les difficultés qu'elle même a rencontrées, et pour les vaincre, nous pouvons dégager parfois une indication dont il importe de profiter.

Or les poissons ont le maître-couple plus rapproché de la tête que de la queue (2). Que cette circonstance ait pour but de diminuer la résistance ou de faciliter la manœuvre dans l'eau, nous devons supposer qu'elle est utile: c'est la réponse qu'on peut faire à l'argument d'après lequel les remarques précédentes seraient sans valeur, sous prétexte que la nature a moins recherché la perfection que la variété des espèces. Or, non seulement la poupe a une plus grande longueur que la proue, mais elle se termine par une ligne droite, ce qui augmente encore son développement. Il est à peu près certain que ce développement a pour but de permettre aux filets d'air, assez fortement écartés par la proue, de se resserrer sur la poupe et de la chasser en avant: la forme même de l'arrière, sa grande surface et son arête effilée

(1) Le poids des muscles pectoraux atteint en moyenne $\frac{1}{6}$ du poids total de l'oiseau; or le travail qu'un muscle peut produire est proportionnel à son poids. L'oiseau s'étend sur l'air d'autant plus que sa vitesse est grande. Le travail de translation en général diminue à mesure que la vitesse augmente, tant que l'oiseau n'atteint pas l'angle aviateur le plus petit que sa forme comporte.

(2) Ce rapprochement est faible, mais il existe chez tous les poissons. Quant aux oiseaux, on constate moins ce fait à cause de leur voilure. Du reste, au point de vue de la résistance du fluide, c'est plutôt au poisson qu'il faut comparer le dirigeable à cause de son équilibre et du déplacement suivant son axe.

semblent donner raison à cette hypothèse, que vient encore appuyer la notion du faible travail musculaire donné par les poissons (1). (R. Soreau).

De ce qui précède on peut donc dire que pour chaque vitesse il existe des rapports de poupe à proue, et de longueur totale à grande section (ou maître-couple), qui donnent le travail minimum possible eu égard au chemin parcouru.

Inversement, il est pour chaque forme de corps, une vitesse relative, dans laquelle il dépense, eu égard au chemin parcouru, le moindre travail.

Cette vitesse varie de 5 à 8 mètres chez les oiseaux et suivant les espèces. Elle est comprise entre 2 et 4 mètres pour les poissons.

Comme les moyens de la mécanique, non seulement sont inférieurs à ceux des moteurs animés, mais ne peuvent espérer d'en approcher, sans chercher à copier servilement la nature, nous devons rivaliser avec elle en mettant habilement en œuvre les procédés qui lui sont propres (2).

(1) Puisque la récupération du travail dépensé à l'avant paraît excellente chez les poissons et chez les oiseaux, il n'est pas sans intérêt d'étudier leur forme. Elle peut se présenter schématiquement en élévation et en plan par la fig. 42. Les changements de direction

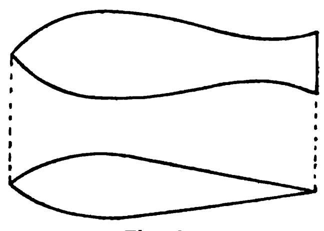


Fig. 42.

s'obtiennent par des mouvements de la queue ; pour les oiseaux ces mêmes changements s'obtiennent en avançant une aile par rapport à l'autre. L'anatomie de l'aile suffit pour expliquer cette action complexe (Hureau de Villeneuve).

(2) En ce qui concerne un sous-marin, la détermination de la

C'est ce qu'ont fait MM. Renard et Krebs lorsqu'ils ont adopté la forme dissymétrique et donné à leur dirigeable une proue et une poupe.

Ils n'ont pas hésité à étudier le mouvement dans l'eau, de solides de formes différentes rappelant celles des poissons. Ces solides étaient en ébonite.

En particulier pour déterminer approximativement le rapport de la proue à la poupe, et par suite la position la plus avantageuse à donner au maître-couple, non seulement au point de vue minimum de résistance,

forme, de moindre résistance est liée en partie à la connaissance du travail perdu par suite du frottement des molécules les unes contre les autres. Il est établi que c'est uniquement pour permettre à l'eau d'avant de prendre sa place à l'arrière sans trop de remous qu'on est dans la nécessité de faire la proue en pointe. Il n'est donc pas utile de faire cette pointe exagérée, il suffit que les tangentes AC et BC

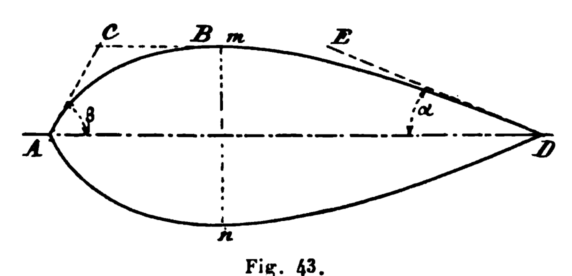


Fig. 43.

(fig. 43) fassent entre elles un angle modérément obtus. Au contraire pour la poupe, la tangente α doit faire avec l'axe du bateau un angle assez aigu pour que la somme algébrique des travaux dus à la pression (travail moteur) et au frottement du liquide sur la paroi du bateau (travail résistant) soit maximum et positive, c'est-à-dire pour que le travail résistant soit minimum. L'angle α doit être sensiblement la moitié de celui qui satisfait à l'équation :

$$\sqrt{2gh} = v \sin \alpha$$

C'est dont la racine de l'équation :

$$\sqrt{2gh} = v \sin^2 \alpha$$

On comprend dès lors que l'angle de poupe peut être égal à l'angle de proue pour certaines valeurs de h et de v. C'est dire que l'on peut quelquefois avoir intérêt à donner au bateau une forme symétrique avec proue et poupe également allongées.

mais aussi pour éviter des mouvements giratoires de tête à queue (expression consacrée en automobilisme) qui se produisent toujours avec des ballons à forme symétrique ; MM. Renard et Krebs ont construit des solides de même longueur, mais dans lesquels le maître-couple avait des positions différentes.

On les fit tomber dans l'eau avec la même vitesse, et l'on choisit comme modèle de dirigeable le solide dont la descente eut lieu sans mouvements de lacets. C'est ainsi qu'il constatèrent qu'un dirigeable doit marcher le gros bout en avant (1), et que la meilleure position à donner au maître-couple *était au quart de la longueur à partir de la pointe avant*. C'est de là que naquit la fameuse querelle des petits-boutiens et des gros-boutiens.

Un ingénieur, qui s'est occupé de travaux sur la navigation aérienne, M. Goupil, a déterminé dans son étude (2), une forme de dirigeable se rapprochant beaucoup de la forme du poisson. La fig. 44 en donne une idée. Ce projet mérite une certaine attention étant donné l'époque à laquelle il a été conçu.

En tous les cas, comme on est conduit à donner au ballon dirigeable la forme d'une surface de révolution terminé par deux pointes (à cause de considérations diverses de constructions) on est tenté à exagérer le rapport entre la proue et la poupe, afin d'obtenir avec cette dernière, une surface suffisante pour bien récupérer le travail dépensé à l'avant.

Il serait intéressant de vérifier ces considérations et

(1) Une forme de dirigeable analogue à celle du poisson, donnerait, pour une longueur et une force ascensionnelle déterminées, un maître-couple beaucoup plus grand que la méridienne circulaire, elle demanderait des précautions spéciales afin que l'étoffe restât toujours parfaitement tendue, en outre elle serait sans objet, car on ne peut raisonnablement penser à imprimer à la poupe des mouvements latéraux analogues à ceux des poissons, alors que le gouvernail donne si simplement les changements de direction nécessaires.

(2) *La Navigation aérienne* (1884). Etude par M. Goupil (A et M).

d'étudier les variations de la résistance, non seulement en fonction de l'allongement, mais aussi en fonction du rapport de la proue à la poupe.



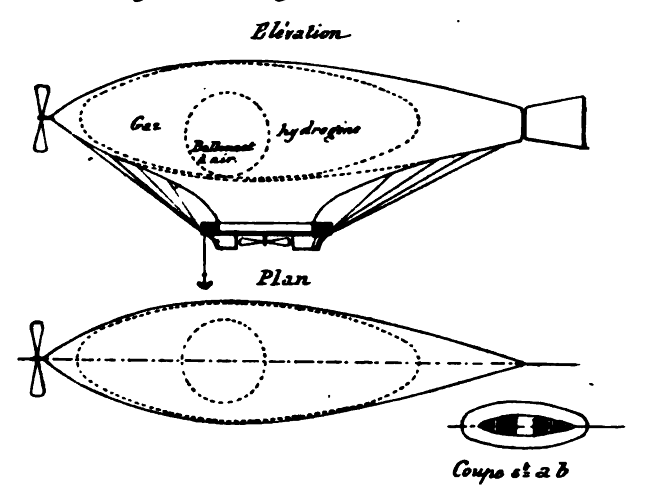


Fig. 44.

Les expériences de M. Paul Dupré (fils d'Athanase Dupré) (1) faites en 1872, montrent que lorsqu'on fait mouvoir un disque dans de l'air chargé d'épaisses fumées que traverse un rayon de soleil, si l'on dessine les filets obtenus, on constate qu'ils sont plus allongés à l'arrière du disque.

Il y a plusieurs années, des expériences remarquables ont été faites à l'usine Krupp à Essen, par MM. Mach et Salcher, pour photographier l'état de l'air traversé par des projectiles animés de grandes vitesses. Au moment où le projectile P passait devant une lentille à long

(1) Athanase Dupré, ancien recteur de l'Université de Rennes. Les expériences d'Athanase Dupré sur l'air sont mentionnées dans les *Annales de Chimie et de Physique* (janvier 1865).

foyer L (fig. 45) il fermait un courant, et une étincelle jaillissait. L'appareil photographique se trouvait au foyer conjugué de l'étincelle et prenait l'image du projectile. Grâce au changement de réfringence, l'air qui entourait le projectile se fixait aussi sur la plaque : on constata l'entraînement d'une masse d'air à contour parabolique, comprimée à l'avant et raréfiée dans le sillage du projectile, sillage où se produisait de nombreux remous.

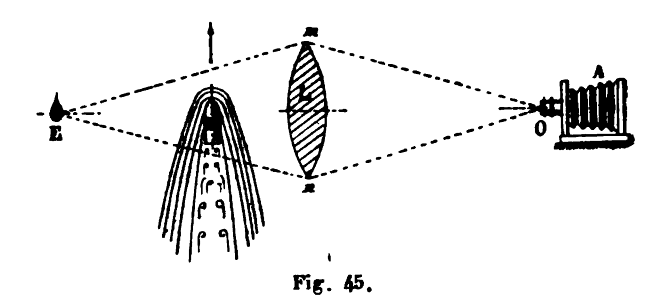


Fig. 45.

Il convient de faire remarquer que la méridienne donnant la résistance minimum doit assurer en même temps la stabilité de route et la facilité des manœuvres. S'il en était autrement, il faudrait la rejeter. Ainsi serait-il très difficile d'évoluer avec un ballon dont le maître-couple serait placé au $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{3}$ de la longueur, en mettant la poupe en tête, la moindre variation du vent produirait des têtes à queue : le gouvernail placé à la proue ne serait efficace que si on le mettait au moins à une longueur de la nacelle de la pointe arrière, ce qui compliquerait et alourdirait sa construction (R. Soreau).

Malgré tout ce qui vient d'être dit au sujet de proue et de poupe, ainsi que de la position à donner au maître-couple, par rapport à l'avant, le camp est bien partagé sur ce point et nous ne pouvons trancher nettement la question.

Un ingénieur qui s'est beaucoup occupé d'anéronautique et qui a fait des recherches sur la direction des ballons, M. Duroy de Bruignac, fit, en mars 1898, à la Société des Ingénieurs civils une communication sur le problème de la navigation aérienne, dans laquelle il chercha à montrer quelle était la meilleure forme à donner à un dirigeable (1).

M. de Bruignac s'appuyant sur ce que les essais effectués par les officiers de Meudon, avec des solides en ébonite dans l'eau, ne pouvaient être comparés à des essais de ballons dans l'air, à cause de considérations spéciales et en particulier à cause des différences de densité, concluait à ce que la forme dissymétrique n'était pas prouvée et que la forme symétrique était préférable (2).

Mais un de ses collègues, M. R. Soreau dont les Mémoires sur la Direction et sur l'Aviation, exposent d'une manière concise et savante à la fois la marche à suivre, soutint que les assertions de M. de Bruignac n'étaient pas fondées et démontra que la forme dissymétrique était plus avantageuse sous tous les rapports (3).

Nous avons déjà examiné cette question précédemment avec les détails qu'elle comporte et nous avons cherché à l'éclaircir.

(1) Cette communication a été insérée dans les mémoires de la Société de mars 1898. Lors de la construction du « Général Meusnier », M. Duroy de Bruignac, avait démandé à Chalais à ce que l'on fasse des éssais avec « La France » en le faisant marcher la pointe en avant. Il ne fut pas donné suite à sa demande.

(2) La forme ainsi déterminée dans l'eau ne convient pas *forcément pour l'air.* En effet, en examinant bien cette question, rien n'autorise à considérer les résultats comme à peu près identiques dans les deux fluides ainsi que le fait remarquer M. de Bruignac ; bien au contraire la différence entre la densité et surtout la compressibilité de l'air et de l'eau qui jouent un rôle considérable dans le mode d'écoulement conduit à penser que les lois doivent être différentes. Mais il est très difficile sinon impossible de les déterminer.

(3) M. Tatin est aussi de cet avis. La réponse de M. Soreau à M. de Bruignac a aussi été insérée dans le Bulletin de mars 1898.

Quoique étant plutôt de l'avis de M. Soreau, nous pouvons dire que beaucoup de personnes ne sont pas bien fixées sur ce point, il serait donc à désirer que des expériences précises vinssent prochainement nous permettre de conclure à l'une ou à l'autre des formes symétrique ou dissymétrique.

CHAPITRE III

PROPULSION

Nous avons vu, d'après ce qui précède que la direction des ballons était avant tout une question de vitesse

Comment arriver à donner une translation rapide au dirigeable qui, constamment lutte contre le vent?

Des voiles, ou d'autres objets qui font corps avec l'aérostat, ne peuvent évidemment lui donner aucun mouvement de translation par rapport à la masse d'air.

Or un ballon dépourvu de tout propulseur est en équilibre dans l'air et se déplace horizontalement ou à peu près par rapport à la surface du sol, il se trouve donc, relativement à l'air ambiant dans la plus complète immobilité, il n'y a qu'un seul mouvement qui lui soit propre; ce n'est pas lui qui fuit, c'est la masse d'air au milieu de laquelle il se trouve immergé.

Les premiers auteurs de dirigeables l'ont compris ; ils ont reconnu qu'il fallait munir leurs ballons de propulseurs convenables.

Divers propulseurs étaient en jeu, il fallait choisir le meilleur.

Le général Meusnier avait, dans son projet, de 1783, adopté les rames tournantes, sortes de palettes frappant l'air obliquement.

D'autres auteurs voulaient employer des roues à pa-

lettes, mais ces rames et ces roues à palettes, qui avaient un rendement très faible, ont disparu pour laisser place au propulseur employé aujourd'hui, à l'hélice, la sainte hélice, comme l'appelait Nadar (1), qui jusqu'à ce jour n'a pas eu de concurrent sérieux.

Propulseur adopté : l'hélice. — En géométrie, on appelle hélice, la courbe engendrée par une droite tracée sur un plan lorsqu'on enroule ce plan sur la surface convexe du cylindre circulaire droit.

L'hélice (2) par son mouvement continu, la réduction possible des surfaces et la vitesse de rotation qu'on peut lui communiquer a primé tous les autres organes imaginables essayés ou proposés : les rames et les roues à palettes, car elle est simple dans sa forme et dans son mouvement.

Les ailettes d'une hélice décrivent dans l'espace des spires et développent des surfaces à cône ou plan directeur suivant la position sur l'arbre. C'est l'inclinaison du plan des ailettes sur ces spires qui produit son rendement plus ou moins grand.

Les spires sont d'autant plus écartées que le plan est plus grand, c'est-à-dire que la vitesse de translation, suivant l'axe de rotation est plus grande par rapport à cette vitesse de rotation ; dans ce cas on pourrait augmenter le nombre des ailettes, mais le rendement diminue car le courant relatif fait un angle plus aigu sur l'arbre.

En général, il conviendra de ne mettre que deux ailet-

(1) L'apôtre de l'aviation, Nadar, l'écrivain facile et coloré, le caricaturiste spirituel, le photographe habile, l'aéronaute intrépide, en un mot une célébrité parisienne qui ont le plus fait parler d'elles, existe encore et habite Marseille. Malgré ses 82 ans, Nadar s'intéresse toujours des questions d'aéronautique en général.

(2) Le père de l'hélice aérienne serait (d'après les recherches faites à ce sujet), Léonard de Vinci, qui aurait proposé de l'appliquer bien avant Bienvenu (1784) ou Cayley (1796).

tes, car il faudra, pour augmenter le rendement, tendre à faire la vitesse de rotation grande par rapport à celle de propulsion.

Soit v (fig. 46) l'angle des ailettes sur le plan des mouvement V, la vitesse de rotation, v la vitesse de translation.

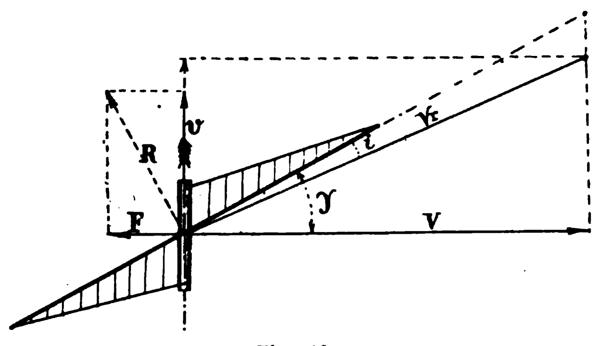


Fig. 46.

Et i, l'angle du courant relatif $\dot{V}^r$ sur le plan de l'ailette ; en son centre de moyenne action.

Si Kd est le coefficient de résistance, que nous retrouverons plus loin et qui a des valeurs diverses suivant les expérimentateurs.

Si la pression normale est R (pression sur la surface totale S sur la surface des ailettes), on aura :

$$R = KdS\,(V^2 + v^2)\sin i \text{ (1)}$$

Or

$$P = R\cos\gamma$$

et

$$F = R\sin\gamma \text{ (fig. 46)}$$

Le travail moteur sera:

$$T = KdS\,(V^2 + v^2)\sin i \times \sin\gamma \times V$$

(1) Formule de M. Goupil, tirée de son volume *La locomotion aérienne* (1884). Le coefficient Kd, a une valeur égale à 0,13.

Le travail rendu sera :

$$T = KdS\,(V^2 + v^2)\sin i \times \cos\gamma \times v$$

Mais en tenant compte de la vitesse du refoulement v', la vitesse réelle de l'appareil n'est plus que $(v - v')$ et le travail rendu :

$$T = KdS\,(V^2 + v^2)\sin i \cos\gamma \times \left(v - \frac{\sqrt{(V^2 + v^2)}}{\sin i}\right)$$

Avec la même surface de forme concave convenable, les résultats précédents peuvent être doublés et même triplés, l'expérience seule peut faire connaître la valeur des coefficients, suivant les formes.

En pratique, on fera V (vitesse de rotation) = 2 à 3 fois v (translation) et i variable en sinus, de 0,10 à 0,20. Nous verrons d'ailleurs plus loin, les essais d'hélices et leurs rendements.

La vitesse de rotation diminuant en allant vers le centre, on rejettera les parties de voilure au centre et on ne conservera que celles dont la vitesse de rotation atteint au moins 1 fois 1/2 celle de propulsion.

Il faut donc reporter l'action loin du centre, en tenant compte, toutefois que, comme organe d'appareil aérien, une hélice trop vaste peut être une source de dangers par les coups de vent.

Comme on le verra dans ce qui va suivre, l'hélice ne donnera son meilleur rendement que lorsque les vitesses de marche et de rotation seront dans le rapport en vue duquel elle aura été construite ; tournant sur place, elle donnera un mauvais effet utile.

Si l'angle d'incidence i est trop faible et que l'hélice ne soit pas pure de forme, certaines parties pourront recevoir le courant relatif à contre-sens et agir à contremarche ; elle s'embrayera d'elle-même, c'est ce qui arrive parfois aux moulins à vent sans qu'on s'en aperçoive.

C'est donc avec le moteur, l'organe âme du problème, comme propulseur, c'est sur le fini de sa construction,

la rationalité et la pureté de ses formes que devront se porter les efforts, car c'est le seul qui ait jusqu'alors des résultats et qu'on puisse employer. Peut-être l'avenir nous réserve-t-il l'application d'un autre propulseur dont le rendement ne sera pas à comparer ?

Expériences et essais divers d'hélices. — S'il est impossible de trouver autre chose que des formules empiriques pour exprimer la résistance au déplacement d'un plan, quelles difficultés ne doit-on pas éprouver à établir la théorie mathématique de l'hélice ! Le calcul ne peut être employé que dans le but d'obtenir des formules approchées, applicables seulement dans les conditions où l'on a déterminé les coefficients numériques qu'elles contiennent. Mais il est impossible d'en tirer des déductions rigoureuses sur la forme, le pas, le tracé des bras, etc.

Pour se rendre compte de l'influence réelle de ces éléments, il est donc nécessaire d'avoir recours à des expériences habilement conduites, guidées par des conceptions théoriques, contrôlées sans cesse sous des formes aussi variées que possible.

Mais la méthode expérimentale n'est pas sans difficultés ; la petitesse des efforts à mesurer et la grandeur des résistances parasites introduites par les appareils rendent les mesures très délicates et demandent une grande ingéniosité dans les méthodes employées.

Des études et des expériences relatives aux hélices aériennes ont été faites par Giffard, Landur, Franchot, Renouard, Gustave Lambert et le professeur Pillet, par Cauchy, Résal, Vallier ; mais les plus récentes et le plus sérieuses sont celles du commandant Renard, de Langley, de M. Welner, professeur à l'Institut de Brünn (Autriche) et du docteur Amans.

Nous commencerons par passer en revue les belles expériences faites à Chalais en 1888, et ensuite nous

passerons aux expériences de Welner en 1894 en y joignant certaines observations judicieuses.

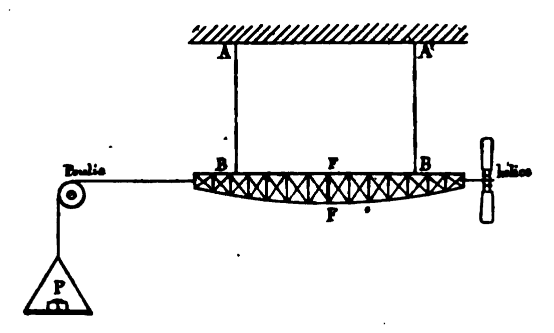


Fig. 47.

Expériences de Chalais. — Pour mesurer la poussée à point fixe du dirigeable *La France* le colonel Renard (1) opéra de la manière suivante :

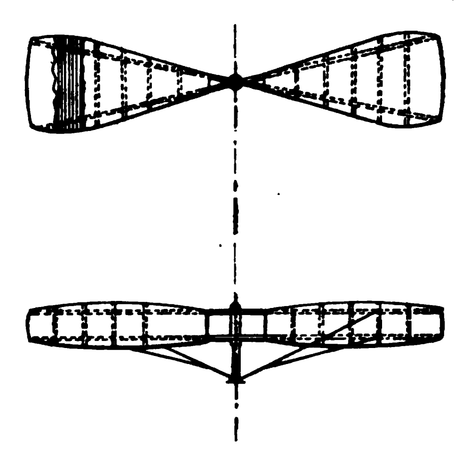


Fig. 48. — Hélice de *La France*.

La nacelle était suspendue par un système équivalent à deux leviers égaux et parallèles AB, A'B' assez longs

(1) A l'époque M. Renard était commandant.

pour que l'appareil oscillat sans frottement appréciable (fig. 47). L'hélice, mise en marche par une dynamo, tirait la nacelle, pour ramener la ligne de foi FF en coïncidence avec le fil vertical du réticule d'une lunette fixe, il fallait placer dans le plateau p, un poids P qui mesurait la poussée.

Comme on le voit ce dispositif d'essais était simple. On calculait, d'après les indications de l'ampèremètre et du voltmètre le nombre de watts que prenait la dynamo. Un tableau des mesures au frein dressé à la suite d'expériences préalables, permettait de déterminer, d'après ce nombre de watts, le travail sur l'arbre moteur et par suite sur l'arbre de l'hélice. Les nombres trouvés par l'hélice de *La France*, ayant 7 mètres de diamètre, et qui est représentée par les fig. 48 sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Essai à point fixe.

Travail sur l'arbre de l'hélice T	Nombre de de tours par minute $N = \omega$	Poussée P	$\frac{T}{P} = E$	$\frac{P}{T} \times N$	$\frac{P^3}{T^2}$
27 kgm.	17	8 kg.	0.296	5.04	0.70
70	24	15	0.214	5.14	0.69
150 (2 ch.).	32	26	0.173	5.53	0.78
242	35	35	0.145	5.08	0.73
364	40	47	0.129	5.17	0.78
617 (8 ch. 2)	48	64	0.104	5.00	0.69

Comme on le voit par l'examen de ce tableau, les expériences n'ont pas été faites avec des vitesses d'hélice dépassant 48 tours par minute, ce qui absorbait déjà 8 chx 2. Ce nombre de tours est évidemment faible. Nous verrons plus loin qu'il y a avantage à l'augmenter pour obtenir une poussée plus grande ; mais le travail sera augmenté dans les mêmes proportions.

Ces essais du colonel Renard, faits à point fixe pour

une hélice déterminée confirment sensiblement que la poussée est proportionnelle au carré et le travail au cube de la vitesse de rotation.

En désignant par P la poussée,

T le travail moteur sur l'arbre,
S la surface de l'hélice,
ω la vitesse de rotation, on a donc, à

une constante près :

$$P = S\omega^2$$
$$T = S\omega^3$$

Mais cette constante varie avec les différentes hélices même lorsqu'elles sont semblables.

Examinons comment elle varie dans ce cas :

Admettons qu'aux lois aérodynamiques des plans inclinés correspondent des lois corrélatives dans la théorie des hélices. Cette hypothèse semble suffisamment justifiée par les travaux de différents expérimentateurs, elle a dans tous les cas un degré d'exactitude d'ordre moyen.

Les poussées de 2 hélices semblables sont alors comme leurs surfaces et comme leurs carrés des vitesses des points homologues (et non des vitesses de rotation).

Soient V et V_1 les vitesses homologues des 2 hélices, et ω et $K\omega_1$ leurs vitesses de rotation.

Le rapport $\frac{V}{V_1}$ est celui des vitesses des points homologues. On a, P et P_1 étant les poussées :

$$\frac{P}{P_1} = \frac{SV^2}{SV_1^2} = \frac{V^2}{K^2V_1^2}$$

K est le rapport de similitude en admettant que S et K^2S soient semblables ou que :

$$\frac{S}{S} = \frac{1}{K^2}$$

Or :

$$\frac{V}{V_1} = \frac{\omega}{K\omega_1}$$

On tire donc :

$$\frac{P}{P_1} = \frac{1}{K_4} \times \frac{\omega^2}{\omega_1^2}$$

Mais si on pose :

$$P = P_1$$

On a :

$$\omega_1 = \frac{\omega}{K_2}$$

La formule du travail et celle de l'efficacité de l'hélice sont du reste exactes, car

$$\frac{V}{V_1} = \frac{\omega}{K\omega_1} = K$$

Et l'on déduit :

$$\frac{T}{T_1} = \frac{SV^3}{S_1V^3} = K$$

$$\frac{E}{E_1} = \frac{T_1}{T} = \frac{1}{K}$$

Nous avons dit que les essais de M. Renard avaient été faits au point fixe.

Or l'action de l'hélice sur l'air est tout autre quand elle n'avance pas ou se déplace librement, c'est ainsi qu'il lui faut donner des formes suivant les vitesses que l'on s'impose.

Pour bien juger une hélice il faut aux essais lui faire prendre une vitesse de translation égale à égale à celle qu'elle doit imprimer comme propulseur.

D'ailleurs les nombres obtenus au point fixe sur l'hélice de *La France*, n'indiquent pas d'une façon bien nette les proportionnalités admises, comme on peut le voir par le tableau précédent.

D'autre part, le rapport E, c'est-à-dire l'efficacité $\left(E = \frac{P}{T}\right)$ ne peut servir (comme l'a montré le colonel Renard), à mesurer la puissance de l'hélice. On voit en

effet, dans le tableau (4e colonne) que E n'est pas constant, et la colonne voisine $\frac{P}{T}N$ semble prouver qu'il varie en raison inverse de la vitesse de rotation.

On ne peut donc pas caractériser une hélice, comme beaucoup seraient tentés de le croire, en disant par exemple qu'elle a donné au point fixe une poussée de 10 k. par cheval.

Toutefois la notion de l'effet ou de l'efficacité, absolument impropre à apprécier la *valeur absolue* d'une hélice, donne des indications importantes sur sa valeur comme propulseur aérien.

Efficacité de l'hélice de « La France ». — Le rapport $E = \frac{P}{T}$ des derniers chiffres du tableau est $\frac{64}{617} = 0,104$.

Chaque kilogramme d'effort dépensé ne produit donc qu'une poussée de 0 k. 104, ce qui véritablement est faible à première vue.

Aussi, quand le commandant Renard annonça ce résultat, un certain nombre de personnes déclarèrent ce propulseur détestable.

Les auteurs des critiques citèrent comme exemple des petites hélices ayant produit des efforts deux ou trois fois plus grands par kgm. dépensé et conclurent avec une apparence de raison que leurs petites hélices étaient supérieures à celle de *La France*.

Or l'efficacité (1) $\left(\frac{P}{T}\right)$ ne peut être comparée comme un critérium lorsqu'il s'agit d'examiner des sustentateurs de même étendue.

Ce rapport $\frac{P}{T}$ varie en raison inverse de la vitesse et par suite du nombre de tours, ce qui se vérifie par le

(1) D'après le tableau précédent, l'efficacité a varié du simple au triple dans le cours des expériences.

tableau précédent ou $\frac{P}{T} \times N$ est sensiblement constant.

Le rapport $\frac{P}{T}$ qui varie pour une même hélice, proportionnellement au nombre de tours, ne peut donc, comme il est dit précédemment, en mesurer la puissance.

M. R. Soreau, dans son étude de 1893, explique ainsi ces théories :

« Pour fixer les idées, dit-il, supposons que le travail employé à faire tourner une hélice, T, détermine un mouvement de va-et-vient de vitesse v à deux disques circulaires de surface S, et de façon que le disque qui va en sens contraire de la marche du dirigeable reçoive l'air normalement (fig. 49) et que l'autre disque allant dans le sens de la marche le reçoive par sa tranche : l'effet est identique à celui produit par le recul continu de la surface S.

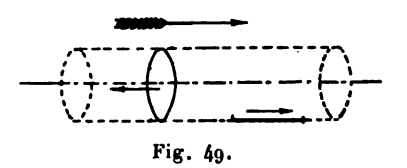


Fig. 49.

« La résistance de l'air étant égale à KSv^2, on peut écrire, en désignant par p, cette poussée :

$$p = KSv^1.$$

« Or, d'autre part, on a l'effort :

$$T = KSv^3.$$

D'où :

$$\frac{p^3}{T^2} = KS.$$

« La quantité $\frac{p^3}{T^2}$ est donc indépendante de v. La dernière colonne du tableau montre qu'il en est de même pour l'hélice, car les valeurs observées peuvent être con-

sidérées comme constantes dans les limites des erreurs d'observation.

« On peut donc déterminer une surface S et une vitesse v telles que le mécanisme précédent donne, pour un travail déterminé T, la même poussée $p = P$ que l'hélice, et par conséquent lui soit équivalent.

« Si lon pose, par exemple, $\frac{P^3}{T^2} = L$, il suffit que l'on ait :

$$S = \frac{L}{K}, \text{ et } v^2 = \frac{P}{L}.$$

« Si l'on veut comparer la puissance de deux hélices quand on connaît les deux valeurs du rapport $\frac{P}{T^2}$ (correspondant à chaque hélice), on peut calculer par les formules précédentes les surfaces figuratives S et S', par exemple, ainsi que les vitesses ; rien n'est alors plus facile que de voir laquelle des deux surfaces figuratives S ou S' et par conséquent laquelle des deux hélices est supérieure à l'autre. Ce moyen de comparaison permet de rechercher la forme d'hélice la plus avantageuse pour la vitesse que l'on veut donner au ballon.

« La connaissance du rapport $L = \frac{P^3}{T^2}$ peut aussi servir à évaluer la puissance de l'hélice. En effet, puisque l'on peut assimiler l'hélice à un plan orthogonal, on peut écrire les équations suivantes :

$$\frac{P}{N^2} = \text{const.} = a,$$

$$\frac{T}{N^3} = \text{const.} = b.$$

D'où :

$$\frac{a^3}{b^2} = L.$$

« Il suffit donc de mesurer une fois pour toutes a et b

pour avoir P, T et N, quand on se donne arbirairement une de ces trois quantités.

« Mais il est important que la détermination de *a* et de *b* soit faite en mesurant simultanément le travail, la vitesse et l'effort, ces mesures étant indépendantes des causes d'erreur introduites par les résistances accessoires du mécanisme ».

Qualités des ailes de l'hélice. — Le colonel Renard appelle ainsi le rapport de la surface fictive ou figurative S des ailes à leur surface réelle, il désigne par qualité de l'hélice le rapport de la surface figurative S à la surface S' décrite par les ailes.

Comparons la surface fictive de l'hélice à la surface des ailes dont elle est formée.

En appelant la surface des ailes par B et la surface fictive par S, le rapport $\frac{S}{B}$ sera appelé qualité des ailes.

Appareil de mesure du commandant Renard. — Pour les expériences faites à Chalais en 1888, relatives aux hélices, le commandant Renard a inventé un appareil (1) qu'il décrit ainsi qu'il suit :

« (*a*) Supposons d'abord, dit-il, qu'il s'agisse de mesurer l'effort. L'hélice et son moteur qui sera constitué par une dynamo seront installés sur un même bâti aussi léger que possible. Tout l'ensemble sera ensuite suspendu à un axe horizontal perpendiculaire à l'axe de l'hélice. Le courant arrivera au moteur par un fil très souple, aboutissant à deux bornes BB' (fig. 50).

Au repos, la manœuvre d'un contrepoids A permettra d'amener l'extrémité d'une longue aiguille au zéro d'un cadran fixe C.

L'hélice étant ensuite mise en mouvement, l'effort de

(1) Voir la *Revue de l'Aéronautique* de 1889. La machine à essayer les hélices, par le commandant Renard.

poussée rejettera tout l'appareil vers la gauche, et l'aiguille indiquera ce mouvement en s'écartant du zéro, vers le haut de la graduation.

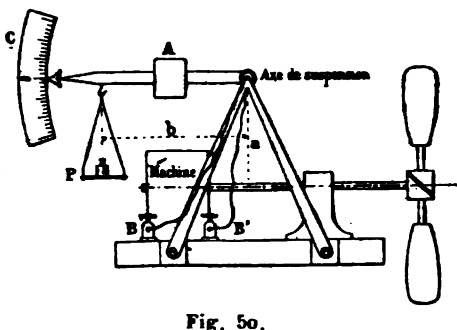


Fig. 50.

On la ramènera au zéro en plaçant des poids dans le plateau P ».

A cet instant, il y aura équilibre entre la poussée et les poids additionnels, et, si l'on désigne par a la plus courte distance de l'axe de l'hélice à l'axe de suspension et par b le bras de levier du plateau par rapport à l'axe de suspension, on aura évidemment :

$$Pa = bm$$

m étant le poids placé dans le plateau, d'où :

$$P = \frac{bm}{a}.$$

En somme, la poussée sera directement mesurée sans que les frottements de l'axe de rotation sur les coussinets interviennent en rien, et l'on aura un degré de précision tout à fait comparable à celui d'une balance si l'on a soin de suspendre l'appareil à un axe portant, au lieu de tourillons, des couteaux d'acier trempé.

(b) S'il s'agissait de mesurer le travail, on commencerait par mesurer le moment moteur M. Pour cela, le même appareil serait suspendu à un axe horizontal,

parallèle cette fois à l'axe de rotation et supérieur à cet axe. Le moment moteur est évidemment égal au moment des forces de réaction de l'air agissant sur les ailes de l'hélice, et par conséquent sur tout le bâti. Dès que l'hélice sera mise en mouvement, ces forces de réaction tendront à faire tourner tout l'appareil en sens inverse, et il ne sera arrêté que par son moment de stabilité autour de son axe de suspension.

Si l'on ramène alors l'ensemble au zéro d'une graduation appropriée, en plaçant un poids n dans un plateau spécial ayant un bras de levier b', on aura évidemment :

$$M = nb'.$$

Le travail sera connu quand on connaîtra la vitesse angulaire ω et l'on aura :

$$T = M\omega.$$

Pour que ces mesures soient simultanées, il suffit de suspendre simultanément le bâti aux deux axes précités, le premier que nous appellerons l'axe transversal, et le second l'axe longitudinal. On aura ainsi une suspension à la Cardan.

Le mouvement de l'hélice déterminera deux déviations simultanées que l'on annulera par des poids placés dans les deux plateaux.

La vitesse sera mesurée au moyen d'un compteur de tours porté par le bâti et embrayé électriquement de façon à ne déterminer, au moment de l'embrayage, que des forces intérieures. On aura donc ainsi le moyen de mesurer : 1° la poussée P, 2° le moment M et 3° la vitesse ω ou le nombre de tours par seconde.

Le travail sera donné par la formule :

$$T = M\omega = M \times 2\pi N.$$

Par suite de nombreux essais faits avec cet appareil et de considérations spéciales, le commandant Renard a

trouvé une hélice de formes beaucoup plus avantageuses que celle de *La France*, cette hélice devait, en 1893, conduire le dirigeable *Le général Meusnier* dont nous avons parlé.

En résumé, en ce qui concerne les expériences du colonel Renard, ce dernier est arrivé, pour une *hélice sustentatrice* bien construite, dont le pas est égal à $\frac{75}{100}$ du diamètre, à prendre les formules :

$$E = 0{,}0234\, n^2 d^4$$
$$L = 0{,}017\, n^3 d^5$$

dans lesquelles n est le nombre de tours par seconde, d le diamètre, E et T sont l'effort et le travail.

On conclut de ces formules que pour produire un effort donné avec le moins de travail possible, on a intérêt à augmenter le diamètre (jusqu'à une limite pratique bien entendu) et à réduire la rotation.

L'expression de l'effort montre que pour une valeur déterminée de E le produit nd^2 est constant ; d'autre part, l'expression du travail peut s'écrire :

$$T = 0{,}017 \frac{(nd^2)^3}{d}$$

le travail sera donc d'autant moindre que d sera grand.

Pour un effort de 100 k., on peut, par exemple, prendre une hélice de 6 m. de diamètre tournant à 1 t. 28 par seconde, soit 77 tours par minute, le travail correspondant sera 7 ch. 4.

Avec un rendement mécanique de 75 o/o, il faudra donc $\frac{7{,}4 \times 100}{75} = 10$ chevaux (en forçant un peu).

Pratiquement, c'est d'ailleurs à ces résultats que l'on arrive, d'après ce qui nous a été communiqué par les nouveaux propriétaires de ballons dirigeables.

Appareil du docteur Langley (1). — Un savant astronome de Washington, le docteur Langley, a construit un appareil avec lequel l'air peut se renouveler au contact de l'hélice, ce qui n'a pas lieu avec l'appareil du commandant Renard.

Cet appareil, dont la figure 51 donne une idée, inscrit sur un cylindre enregistreur à la fois la force propulsive de l'hélice et la puissance dépensée.

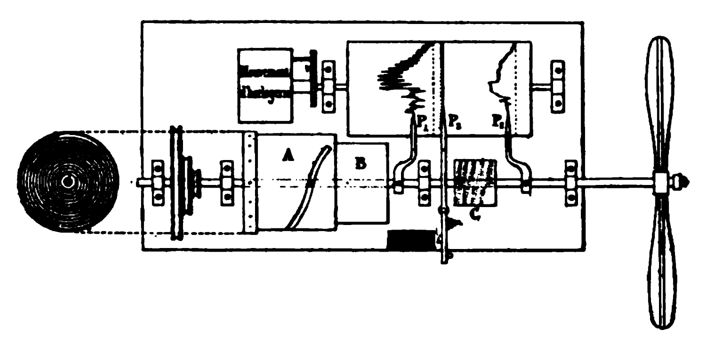


Fig. 51.

L'arbre est coupé en deux parties, terminées chacune du côté de la coupure par deux cylindres A et B mobiles l'un dans l'autre ; au premier est attachée l'extrémité extérieure d'un ressort en spirale dont l'extrémité intérieure est fixée à la partie de l'arbre qui porte le cylindre B ; celui-ci est muni d'un curseur qui s'engage dans une rainure hélicoïdale creusée sur le cylindre A.

L'arbre a été coupé à l'intérieur d'un troisième cylindre C, de façon que les deux parties tournent ensemble et ne puissent se déplacer l'une par rapport à l'autre que suivant l'axe ; l'effort est contrebalancé par l'action d'un ressort à boudin situé dans le cylindre C.

Si l'on fait tourner, sous l'action d'une pédale, par

(1) *Revues de l'Aéronautique*, 1892-93-94 et *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* de février 1893 (R. Soreau).

exemple, la partie de l'arbre opposée à l'hélice, le couple moteur se transmet à celle-ci par l'intermédiaire du ressort en spirale, et il en résulte, grâce au mouvement du curseur dans la rainure hélicoïdale, des déplacements du crayon P_1 qui s'enregistrent sur un cylindre tournant.

Sous l'effort de la rotation, l'hélice avance ou recule suivant qu'il y a accélération ou ralentissement de la vitesse, et ses déplacements s'enregistrent par l'intermédiaire du crayon P_2.

Un troisième crayon P_3 inscrit les battements d'une horloge. A l'aide de graduations empiriques préalables, on peut déduire de ces tracés la valeur de la force propulsive en fonction de la puissance dépensée.

Pour que l'air se renouvelle au contact de l'hélice, le docteur Langley avait installé son appareil sur le manège qui lui a servi à faire ses célèbres expériences d'Aérodynamique (1). Deux bras de 9 m. 15 de longueur se prolongeaient suivant un diamètre ; à l'extrémité de l'un d'eux on montait l'appareil précédent sur une balance spéciale au pied de laquelle se trouvait un électro-moteur qui était actionné par une dynamo fixe et donnait le mouvement à l'hélice.

Les conclusions de M. Langley ne sont pas très caractérisées : « Tout d'abord, dit-il, l'efficacité est plus grande avec un petit nombre d'ailes. Le cas de l'hélice propulsive est en effet tout différent de celui d'un moulin à vent ; ces appareils ne sont pas réciproques et il faudrait de préférence comparer ce dernier à celui d'un ventilateur.

(1) Les expériences de M. Langley ont été exécutées de 1888 à 1891 avec un soin remarquable. Le mémoire où elles sont décrites a été présenté en 1891 à l'Académie des sciences. Les assertions du savant astronome sont beaucoup trop optimistes. Au reste, la plupart des lois que M. Langley croyait avoir découvertes se trouvent dans les travaux de Borda, Dupré, Penaud, etc., ce que probablement l'Académie ignorait (R. Soreau).

Pour le moulin à vent, la pratique et la théorie montrent qu'il y a avantage à ce que les ailes couvrent en grande partie la totalité du cercle circonscrit ; pour l'hélice propulsive, si les ailes sont nombreuses, chacune frappe de l'air déjà bousculé par les précédentes, cet air déjà remué n'offre plus la même résistance que celui qui n'a pas encore été agité. En outre, plus grande est la vitesse d'avancement, plus faible est le recul, plus forte est l'efficacité de l'hélice ».

Expériences de M. Welner

Un éminent professeur à l'Institut de Brunn, M. Welner (1), a fait une série d'expériences pour mesurer les efforts de sustentation et de propulsion des hélices. Six modèles d'hélices ont été construits et expérimentés par lui.

Les diverses hélices étaient mises en mouvement par une dynamo de $\frac{1}{2}$ cheval. On avait commencé par mesurer la puissance absorbée par la marche à vide, en remplaçant les hélices par un disque de même poids et mesurant l'intensité du courant et la différence de potentiel. La résistance du circuit étant connue, on connaissait la puissance dépensée pour l'échauffer ; en retranchant celle-ci de la puissance totale dépensée aux bornes, il restait la puissance absorbée par la marche à vide.

Pour chacune des six hélices, on a calculé la surface totale et le rayon de giration donné par la formule:

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{F} \Sigma f r^2}.$$

(1) Au cas où le lecteur désirerait des renseignement plus complets sur les expériences de ce professeur, il pourrait consulter ses « Etudes et recherches sur les grandes hélices », parues dans la *Revue des ingénieurs et architectes autrichiens* (Vienne 1896) et dans la *Revue aéronautique* (Vienne 1897).

f est un élément de surface,
r sa distance à l'axe,
F la surface totale.

Ces quantités sont données par le tableau suivant :

N° des hélices	F (en m²)	P en mètres
1	0,2124	0,202
2	0,05542	0,204
3	0,080	0,275
3_1 (1)	0,170	0,275
4	0,12226	0,2997
5	0,0664	0,215
6	0,049	0,3161

Premier appareil. — Le premier appareil dont il s'est servi pour mesurer la poussée verticale (sustentation) est représenté par la figure 52. C'est, comme on le voit, une

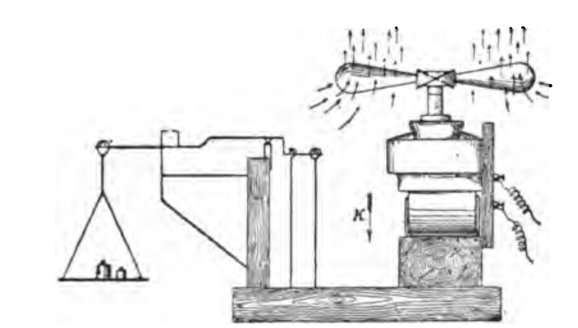


Fig. 52. — Appareil pour mesurer la poussée verticale.

hélice disposée sur un petit moteur électrique D dont l'axe est vertical et qui est mis en mouvement par le courant entrant aux bornes BB.

L'ensemble est monté sur le plateau d'une bascule

(1) L'hélice 3_1 est semblable à 3, mais elle a quatre ailes au lieu de deux.

assez sensible et l'équilibre s'établit au moyen de poids P. On comprend fort bien que l'hélice mise en mouvement tend, suivant la forme des ailes, à s'élever ou à pousser, suivant la flèche. On équilibre cette poussée par des poids et, ayant mesuré à l'avance le nombre de tours du moteur, un simple calcul donne la poussée verticale de l'hélice.

L'hélice qui a donné le meilleur rendement aux dires du professeur, avait les dimensions suivantes :

Longueur totale, 1 m. 18.

Largeur (au maximum), 0,239.

Distance entre les deux ailes, 0,180.

Le tableau suivant donne les résultats des essais avec la forme d'hélice adoptée.

Poussée verticale.

Nombre de tours par minute.	Puissance de la machine en kgm.	Puissance absorbée en kgm.		Poussée verticale s^t l'axe, en kgm.	Rapport entre la puissance et la poussée.
		Par la marche à vide.	Par l'hélice.		
162	1.09	0.84	0.25	0.095	11.47
210	1.58	1.09	0.49	0.190	8.31
252	2.19	1.31	0.86	0.31	7.06
308	3.10	1.60	1.50	0.45	6.88
370	4.64	1.92	2.72	0.66	7.03
412	5.88	2.14	3.74	0.80	7.30
480	7.95	2.50	5.45	1.065	7.46
556	10.50	2.89	7.61	1.360	7.72

Le plus faible rapport entre la puissance et la poussée (6e colonne) est obtenu en faisant tourner l'hélice à 308 tours ; ce rapport est 6,88, ce qui revient à dire qu'un moteur de 1 kg. s'enlèvera s'il développe une puissance de 6 kgm. 88, soit sept fois plus.

L'efficacité à ce même nombre de tours serait donc de :

$$\frac{0,45}{1,5 + 1,6} = 0,145.$$

Deuxième appareil. — Pour mesurer la poussée horizontale suivant l'axe, les expériences ont été faites au moyen d'un appareil analogue au pendule (fig. 53).

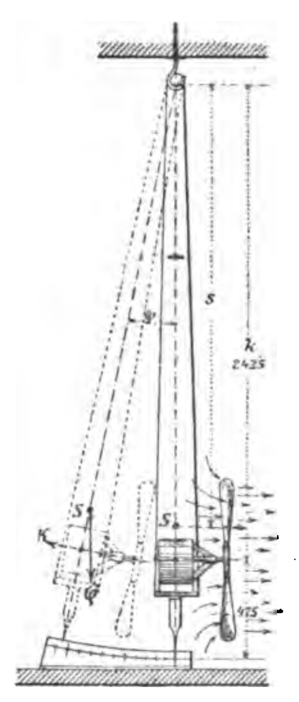


Fig. 53. — Appareil pour mesurer la poussée horizontale.

Un secteur divisé sur lequel peut se mouvoir l'aiguille A, placé sous le petit moteur, donne la poussée en kg ; on tient compte de l'angle φ déterminé par cette poussée autour du crochet-pivot supérieur C.

Le tableau suivant (p. 139) donne les résultats obtenus.

Le plus faible quotient de la puissance par la poussée (6e colonne) est obtenu avec 268 tours par minute. Ce rapport est légèrement supérieur à celui obtenu dans l'expérience ayant trait à la poussée verticale, détermine-rait donc un meilleur rendement à l'hélice propulsive.

Poussée horizontale.

Nombre de tours par minute.	Puissance de la machine en kgm.	Puissance absorbée en kgm.		Poussée horizontale suiv. l'axe en kgm.	Rappoit entre la puissance et la poussée.
		Par la marche à vide.	Par l'hélice.		
216	1.49	0.98	0.51	0.207	7.17
240	1.87	1.10	0.77	0.277	6.75
268	2.42	1.23	1.19	0.367	6.59
302	3.23	1.39	1.86	0.470	6.92
350	4.20	1.61	2.64	0.609	6.96
396	5.77	1.82	3.95	0.735	7.86
472	8.07	2.17	5.90	1.052	7.66
566	11.13	2.60	8.53	1.456	7.64

L'hélice sustentatrice lui serait inférieure.

M. Welner admet implicitement dans ses calculs que la composante perpendiculaire à l'axe de l'hélice est égale à $\frac{E}{v}$, E étant la puissance dépensée et v la vitesse du centre d'inertie.

Il n'en est pas ainsi lorsque la longueur des ailes comptée suivant le rayon est une fraction importante du rayon maximum. Si les composantes élémentaires pour chaque élément de surface sont proportionnelles au carré des vitesses linéaires, on trouve que le cercle d'inertie est bien le point où la réaction élémentaire par unité de surface est la même que pour l'hélice entière, mais il ne s'ensuit nullement que ce point soit le centre de poussée.

En appelant ρ et ρ' les rayons du centre d'inertie, et du centre de poussée, r, le rayon d'un élément de surface représenté par dF, on a des relations suivantes :

$$\rho^2 \int dF = \int p^2 dF$$

$$\rho'^3 \int dF = \int p^3 dF$$

Si l'on admet la proportionalité des réactions au carré de la vitesse, on voit que pour une hélice, il existe entre la surface F, la poussée suivant l'axe (K) et la puissance

absorbée pour la faire tourner, une relation indépendante de la vitesse :

$$\frac{K^3}{F^2} = q$$

q, étant une constante dépendant seulement de la forme de l'hélice. Le facteur q peut-être pris comme mesure de l'efficacité de telle ou telle forme d'hélice.

Il peut se déduire et on peut écrire :

$$q = \frac{K^3}{E^2F} = \frac{\frac{K}{F}}{\left(\frac{E}{K^2}\right)^2}$$

Rappelons que lorsqu'un plan se meut perpendiculairement à lui-même, il éprouve une résistance :

$$K = Av^2$$

Si par un semblable mouvement, on cherche un effort direct opposé à la vitesse, on trouve :

$$q = \frac{K^3}{E^2} = A$$

Cette efficacité serait donc le coefficient A, que l'on a longtemps cru égal à 0,125, même 0,130 (Marey et Goupil), mais qui, d'après MM. Langley et Renard, serait égal à 0,08 ou 0,09, valeur qui concorde bien avec les expériences déjà lointaines de Piobert et de Morin.

L'encombrement produit par une hélice étant proportionnel à la surface totale du cercle extérieur décrit, il y aurait intérêt à rapporter l'efficacité non à la surface des ailes, mais à la surface du cercle décrit.

Il faudrait alors multiplier par $\frac{F}{S}$ les nombres obtenus.

Le dernier tableau des expériences de M. Wellner met en évidence les explications qui précèdent qui peuvent se résumer ainsi :

1° L'avantage de l'hélice sur le plan normal (Sustentation) quand on choisit convenablement l'inclinaison ;

2° Les rapides variations de l'efficacité avec, l'inclinai-

son et la présence d'un maximum très nettement accentué;

3° L'avantage des hélices à ailes concaves.

Les essais du professeur autrichien ont porté, comme on l'a vu, sur des hélices de petit diamètre.

Essais d'hélices.
Poussées et puissances absorbées.

Nos des hélices	$\frac{K}{F}$ poussée suivant l'axe en kg. par M² de surfaces d'ailes. pour des vitesses en mètres par seconde égales à				$\frac{F}{K}$ puissance absorbée en kgm. par seconde et par kgm. de poussée suivant l'axe. pour des vitesses en mètres par seconde égales à			
	5	10	15	20	5	10	15	20
1	0.38	1.38	3.43	5.6	7	8.40	11.80	15.8
2	0.33	1.32	3.01	5.18	4.50	6	7.10	8.2
3	0.49	1.90	4.29	7.40	5.20	5.40	5.60	7.3
3_1	0.46	1.25	3.06	5.61	3.30	3.80	5.60	6.6
4	1.08	4.25	8.26	14.80	2.50	3.90	5.60	6.5
5	0.04	0.15	0.34	0.60	15	25	38.00	6
6	1.11	4.20	7.82	10.3	1.50	2.50	3.90	5

Essais d'hélices.
Tableau par numéros des surfaces.

Numéros des surfaces.	Surfaces en cm² f	Rayon de givation en cm. r.	fr^2
1	6.4	11.3	817
2	19.8	14	3881
3	31	17	8959
4	45.8	20	19320
5	56.5	23	29888
6	66	26	44616
7	68	29	57188
8	65	32	66560
9	55.5	34	66045
10	46.5	37	65379
11	38	40.5	62320
12	28	43.5	52976
13	21	46.5	45402
14	14	49.8	34720
	$\Sigma f = 561$ cm. 5		$\Sigma fr^2 = 558071$

Résumé.

Inclinaison des ailes (α) degrés.	$\frac{K}{F}$ poussée suivant l'axe en kg. par M² de surfaces d'ailes. pour des vitesses en mètres par seconde égales à				$\frac{E}{K}$ puissance absorbée en kgm. par seconde et par kgm. de poussée suivant l'axe. pour des vitesses en mètres par seconde égales à			
	5	10	15	20	5	10	15	20
5°	0.4	0.98	1.43	2.7	5	5.56	6.25	6.6
10	0.9	2.05	4.78	6.66	2.02	2.42	3.75	4.7
15	1.07	2.8	5.68	—	2.2	3.28	5.10	—
20	1.16	3.07	6.94	—	2.3	3.77	5.51	—
25	1.33	4.67	—	—	3.5	5.8	—	—
30	1.65	6.01	—	—	4.87	7.96	—	—

Efficacité de diverses hélices.

Expérimentateurs.	Nos des hélices à inclinaison fixe.	Hélices à inclinaison variable α =	Efficacité pour une vitesse en M par seconde égale à : 5	10	15	20	Rapport de la surface du cercle à la surface des ailes
M. Welner.	1		0.008	0.019	0.024	0.022	1.3
	2		0.016	0.036	0.061	0.077	5.2
	3		0.018	0.065	0.137	0.138	6.2
	4		0.033	0.28	0.26	0.35	6.7
	5		0.00018	0.00024	0.00023	0.00017	4.9
	6		0.49	0.67	0.51	0.40	15.6
		5	0.016	0.03	0.041	0.62	
		10	0.22	0.35	0.335	0.30	
		15	0.22	0.20	0.215		
		20	0.22	0.215	0.225		7.4
		25	0.108	0.138	—		
		30	0.070	0.107	—		
Ch. Renard. Hélice à quatre ailes.			*Efficacité. — Valeur unique.*				
		10	0.168				
		20	0.255				
		30	0.202				4.40
		40	0.057				
		50	0.032				
		Plan normal.	entre 0.08 et 0.12				

Ils ne sont donc pas comparables à ceux du colonel Renard et ne nous donnent pas des renseignements immédiats pour pouvoir déterminer assez rapidement les diverses valeurs d'une hélice aérienne.

Le Dr Amans (1), qui a fait il y a plusieurs années des expériences sur les hélices, expériences consignées dans un travail présenté au Congrès de Marseille en 1891, critique, dans l'*Aréonaute* de mai 1895, les essais du savant professeur de Vienne.

Il dit que les méthodes de la bascule et du pendule, scientifiques c'est certain, sont fastidieuses et trop complexes.

« Il ne suffit pas, dit le Docteur Amans, de noter le travail total et d'en retrancher le travail interne du moteur, plus le travail effectif de l'hélice. Il faudrait encore en retrancher le surcroît de frottement sur les paliers, résultant du tirage de l'hélice.

« Une autre cause d'erreur est la position du propulseur, trop près de la masse du moteur, ce qui trouble la marche des courants surtout à de grandes vitesses.

« La détermination du travail réellement consommé par l'hélice est l'œuvre capitale du travail de Wellner, mais le point capital du problème à résoudre est la comparaison des valeurs propulsives d'hélices de diverses formes pour un même travail absorbé. Ce dernier travail est un facteur commun qui disparaît dans le rapport des valeurs propulsives, et c'est ce rapport qu'il importe le plus de connaître. A ce point de vue, je ne crois pas que les expériences de Wellner aient fait faire un grand pas à la question surtout un pas décisif et définitif comme on s'est flatté de le dire ».

Laissons la critique au docteur Amans et examinons ce qu'il dit sur les essais du professeur Viennois.

M. Wellner reconnaît : 1° Qu'il y a avantage à rendre

(1) De Montpellier.

convexe la ligne d'attaque, ce qui est important surtout en raison de la vitesse de rotation ; mais la question est de savoir quelle est la meilleure courbure à choisir pour un cas donné ;

2° Qu'il est bon de renforcer, d'épaissir le bord antérieur de l'hélice ; en effet, si l'on admet qu'un organe de propulsion doit avoir son maître-couple plus rapproché de l'avant que de l'arrière, c'est le principe du gros bout en avant. D'ailleurs la position exacte, la forme et les dimensions de ce maître-couple sont encore des problèmes non résolus ;

3° Que les palettes doivent être légèrement concaves, cette concavité diminuant de la base vers la périphérie. C'est une vieille idée du dièdre basilaire, présentée en 1881 à l'Académie des sciences. La courbure de cette surface qui frappe l'air, celle de la surface opposée, les variations de cette courbure en allant de la base vers la périphérie sont autant de problèmes effleurés et loin d'être résolus.

M. Wellner a obtenu de meilleurs résultats avec une hélice géométrique à pas constant, inclinée à 45°, sur l'équateur vers sa base d'implantation, à 9° à la périphérie : la torsion serait donc de 36°. Il est certain que pour uniformiser les angles de poussée, la préférence revient aux hélices à pas constant vers la périphérie, croissant du côté de la base.

M. Wellner aurait pu faire un critérium expérimental des *pas variables*, *pas croissant*, *rapport du pas au diamètre*, *des génératrices droites, des génératrices courbes*, en particulier *des paraboliques*, *de l'inclinaison des génératrices sur l'axe*, du parallélisme et divergence des génératrices et autres facteurs qui continuent à faire

Le savant professeur de Vienne arrive à dire que les forces propulsives sont sensiblement proportionnelles aux carrés des nombres de tours. C'est là un fait connu, mais si la force propulsive était rigoureusement pro-

portionnelle aux carré des vitesses et que l'on connût la position exacte du centre de poussée, on pourrait poser la formule empirique :

$$K = Fv^2 \frac{y}{g} a,$$

dans laquelle K représente la force propulsive, y la densité de l'air, g l'accélération due à la pesanteur, soit $\frac{1}{8}$ pour le rapport $\frac{y}{g}$, P la surface totale de l'hélice, v la vitesse du centre de poussée et a un coefficient indépendant de cette vitesse pour une même hélice. Quoique l'expérimentateur donne une grande importance à ce coefficient, puisqu'il l'a calculé dans chaque cas particulier en prenant des moyennes, son importance est beaucoup moindre en réalité, à cause des variations du centre de poussée avec une même hélice, pour des vitesse différentes. Enfin, M. Wellner paraît assimiler le centre de poussée au centre d'inertie. Il calcule par intégrations partielles le rayon d'inertie et obtient ainsi les vitesses du centre d'inertie. En regard de ces vitesses, il expose les rapports $\frac{E}{K}$ (E travail absorbé et K force propulsive) et l'on voit que le rapport augmente avec la vitesse. Il ne faudrait pas cependant en conclure comme certains l'on fait que le rendement de l'hélice diminue avec la vitesse de rotation et que l'on doit chercher à employer les grands diamètres ou les grandes ailes. On ne peut d'ailleurs déterminer le rendement qu'en établissant le rapport des deux travaux : propulsion et rotation.

Dans les expériences que nous analysons, le travail de propulsion est sensiblement nul, il est donc au moins imprudent de prendre le rapport d'une force à un travail pour un rendement.

La force propulsive étant une fonction de n^2 et le tra-

vail moteur de n^3, leur rapport est donc fonction de $\frac{n^3}{n^2} = n$.

A de certaines vitesses, l'indice de propulsion (1) pourrait diminuer et cependant le rendement augmenter : pourquoi pas ? Cela dépend des formes des hélices.

Pour avoir le maximum d'effet utile, il faut conformer l'hélice au type du moteur adopté et à la vitesse de propulsion demandée. C'est ce que dit M. R. Soreau dans son intéressant et savant travail de 1893.

Le tableaux de Wellner, pas plus que ceux du Dr Amans (qui ne sont pas dans cette étude) ne permettent pas de résoudre la question des hélices aériennes, mais ils nous donnent cependant, en y joignant ceux du colonel Renard, de fortes indications et de larges conseils. Ils nous placent près d'une bonne solution.

Considérations sur les vitesses des hélices

1° *Hélices du 1er genre tournant à faible vitesse ; 2° hélices du 2e genre tournant à grande vitesse.*

Nous avons donc terminé l'examen des résultats des différents expérimentateurs qui, comme on a pu le voir, forment deux partis distincts : le premier préfère l'hélice de grand diamètre et de faible pas, et l'autre qui a beaucoup d'adeptes en Angleterre, en Amérique et en Allemagne, préconise l'emploi de petites hélices à pas accentué et à grande vitesse.

Si le poids du moteur était indifférent, l'hélice devrait avoir : 1° d'aussi petites dimensions que possible ; 2° une

(1) Le Dr Amans appelle *indice de propulsion* le rapport $\frac{P}{cn}$ dans lequel P est la force propulsive, n, le nombre de tours par seconde, et c un coefficient suivant l'appareil. Cet expérimentateur écrivait en 1891 : « L'indice de propulsion croît en raison inverse des poids, c'est-à-dire que pour une même palette, il est d'autant plus grand que la palette tourne plus lentement ».

grande vitesse de rotation ; 3° l'angle de pas qui donne le maximum de poussée. On obtiendrait ainsi avec la poussée maxima, l'hélice la plus légère.

Mais dans le problème de la navigation aérienne, le poids du moteur est un élément capital, et comme pour produire une poussée déterminée, il faut une puissance inversement proportionnelle à l'effet de l'hélice, c'est-à-dire à la poussée qu'elle donne par cheval, il en résulte que la grandeur de l'effet joue un rôle du même ordre que la diminution du poids du moteur. Or, pour posséder un grand effet, l'hélice doit avoir : 1° d'assez grandes dimensions ; 2° une faible vitesse de rotation ; 3° un petit angle de pas.

Avec un moteur léger, il faudra réduire considérablement la vitesse de l'arbre principal par l'intermédiaire d'engrenages par exemple, non seulement il faudra tenir compte du rapport $\frac{E}{K}$, mais aussi du rapport $\frac{K}{p}$, dans lequel p est le poids du moteur ; si ce que l'on gagne en $\frac{E}{K}$ (puissance) on le perd en $\frac{K}{p}$ (vitesse), on tourne autour d'un cercle vicieux.

Il n'y a qu'un moyen d'y échapper: construire une hélice d'une forme convenable, appropriée pour une vitesse moyenne intermédiaire. C'est ce qui sera fait, nous le pensons, pour les hélices des dirigeables dont la construction s'achève en ce moment.

Dans la marine, on admet que l'hélice doit être aussi grande que possible, après qu'on s'est réservé non seulement son immersion complète, mais encore une certaine couche d'eau au-dessus d'elle.

Les hélices employées jusqu'ici dans les essais sérieux de ballons dirigeables français appartiennent toutes au 1er genre, ainsi que le montre le tableau suivant :

Tableau des dimensions des hélices des principaux dirigeables français.

Noms des auteurs de dirigeables.	Diamètre extérieur de l'hélice.	Vitesse à la circonférence extérieure (par seconde).	Nombre tours par de minute.	Nombre de tours par seconde.
Expériences. Giffard (1852) (hélice à 3 branches).....	3m40	19.58	110	env. 2
Dupuy-de-L... (1872) (2 branches)......	9	12.25	env. 26	env. $\frac{1}{2}$
Tissandier (1883) (2 branches	2.85	26.86	180	3
Renard et Krebs (1884) (2 branches)	7	17.59	48	moins de 1
Santos Dumond (1901) (2 branches)......	4	31.42	150	2.5
Projets méritants d'être signalés				
Gabriel Yon (1880) (4 branches)...........	5.500	89.28 (?)	310	env. 5
Gabriel Yon (1886) « Torpilleur » (2 branches).	11	40.317	70	plus de 1 t.
Renard (1893) « Gl Meusnier » (2 branches)...	9	30 (env.)	70 t.	plus de 1 t.
Tatin (1902) « Ville de Paris » (2 branches)..	7.50	47.12	120 t.	2

A l'encontre des hélices appliquées aux expériences des dirigeables français, les hélices de l'aéroplane de l'ingénieur américain Maxim appartiennent au deuxième genre.

Elles étaient en bois et leur diamètre varia de 44 à 64 centimètres. Près de cinquante formes à deux ou quatre ailes furent essayées sur un manège qui donnait la poussée à point fixe et la poussée en marche. On a ainsi trouvé qu'une hélice en bois, à deux ailes, de o m. 645 de diamètre, d'un pas moyen de o m. 914 progressant légèrement, produisait à la vitesse de 39 tours par seconde, une poussée de 5 k. en parcourant 29 m. dans le même temps. Une hélice semblable de o m. 445 de diamètre faisant 47 tours par seconde, produisait

une poussée de 3 k. 630 en tournant sur place, et de 2 k. 268 en parcourant 18 mètres.

Quant aux hélices appliquées aux essais faits en Allemagne en 1900, avec le gigantesque dirigeable du comte de Zeppelin (« le Navire » aérien en aluminium), elles avaient un diamètre de 1 m. 15 et 1 m. 25, avec quatre branches, et tournaient, paraît-il, à 1.100 tours par minute. Avec ce grand nombre d'ailes, ce petit diamètre et cette vitesse de rotation, le rendement de ce propulseur ne pouvait qu'être faible. C'est pourquoi les essais ont donné des résultats peu satisfaisants.

La différence entre les vitesses auxquelles doivent être entraînés les ballons dirigeables et les aéroplanes peut expliquer qu'on ait recours aux hélices du premier genre pour les uns et aux hélices du deuxième genre (grande vitesse de rotation) pour les autres.

Pas de l'hélice. — On sait qu'on appelle *pas de l'hélice* la portion constante de la génératrice comprise entre les extrémités d'une même spire.

Un auteur américain, C. W. Hastings, a publié sur l'hélice une théorie dont l'analyse critique par MM. Soreau et Henry a paru dans l'*Aéronaute* de mars 1895.

Nous allons décrire ce qui est relatif au *pas*.

« Assimilons, dit M. Hastings, l'hélice à une série de plans inclinés auxquels nous appliquerons la formule de Duchemin. La pression Π de l'air s'exerce normalement aux ailes et la poussée P est le produit de cette pression par le cosinus de l'angle d'inclinaison α tandis que la résistance ρ à la rotation est le produit de la pression par le sinus.

Nous aurons donc, aux constantes près :

$$P = \Pi \cos \alpha$$

$$\rho = \Pi \sin \alpha$$

$$E = \frac{P}{w\rho} = \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{w}$$

dans lesquelles :

Π est la pression de l'air,
P la poussée,
α l'angle d'inclinaison des ailes,
ρ la résistance à la rotation,
E l'effort,
w la vitesse.

« Pour les petits angles, on pourra prendre :

$$E = \frac{1}{\alpha w}.$$

« L'analogie supposée entre l'hélice et le plan incliné rendait ce résultat évident. Supposons, en effet, un plan incliné qui se déplace avec une vitesse déterminée ; doublons, par exemple, l'angle d'inclinaison : la pression et par suite la composante normale au déplacement sont doubles, mais la résistance et par suite le travail moteur sont quadruples puisque cette résistance est égale au produit de la pression normale par le sinus de l'angle.

« Dans le cas d'un angle faible, les formules précédentes deviennent, en remarquant que $\Pi = S\alpha w^2$:

$$P = S\alpha w^2$$
$$\rho = S\alpha^2 w^2$$
$$E = \frac{1}{\alpha w}$$

et :

$$T = \frac{P}{E} = S\alpha^2 w^3.$$

« Pour obtenir une poussée déterminée, on peut prendre une faible vitesse et un grand angle, ou une grande vitesse et un angle faible.

Faisons :

$$S = 1 \text{ et } P = 1.$$

On a :

$$1 = \alpha w^2.$$

Ce qui donne pour E les deux formules :

$$E = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \text{ et } E = w.$$

« Avec une surface donnée et une poussée déterminée, on aura un effet d'autant plus grand que la rotation sera plus grande et l'angle d'hélice plus petit. C'est le moment de discuter l'angle de poussée maxima ».

« On sait que le plan incliné donne, pour une vitesse déterminée, un maximum de sustentation qui a lieu, suivant la formule de Duchemin, pour l'angle de 35° 1/2. Or, un maximum analogue a lieu pour l'hélice. Mais, de même que l'angle élevé obtenu pour le plan ne convient pas au vol à voile, à cause de la grande puissance qui serait nécessaire pour vaincre la résistance à l'avancement correspondante, de même l'angle de pas de l'hélice propulsive devra être inférieur à celui qui donne la poussée maxima.

« Il est clair qu'au delà de cet angle, l'hélice perdrait de son effet, d'abord parce que l'angle n'est plus celui de la poussée maxima, ensuite parce que la résistance à la rotation et la puissance consommée augmentent toutes deux. En deçà de cet angle, la puissance consommée diminue, mais aussi la poussée, de sorte que si l'on voit qu'il faut prendre l'angle de pas dans cette zone, on ne sait pas au juste quelle valeur lui donner ».

Quant au pas à donner à une hélice aérienne pour obtenir le meilleur rendement, le colonel Renard conseille le rapport $\frac{75}{100}$ du diamètre (hélice sustentatrice bien construite).

Recul des hélices

On peut toujours constater que cet organe de propulsion ne fait jamais parcourir au ballon sur lequel il est monté, un chemin aussi long que celui indiqué par son pas multiplié par le nombre de tours qu'il fait : il donne donc lieu à une perte appelée *recul*.

L'intérêt revient alors à réduire ce recul afin de dimi-

nuer le travail moteur. A première vue, un moyen très simple s'offre tout naturellement : faire prendre à l'hélice son appui sur un cercle aussi grand que possible, ou, en d'autres termes, lui donner un grand diamètre.

On conçoit aisément que si le diamètre D tend vers ∞, le recul tendra vers O, et inversement.

Il est donc important de se rendre compte de ce que peut être le recul de l'hélice: c'est ce que nous allons examiner.

L'action étant égale à la réaction, la poussée sur l'arbre sera égale à la poussée exercée en sens contraire sur la base de la colonne d'air attaquée; si donc la résistance au déplacement peut être représentée par celle d'une colonne d'air de base égale à celle sur laquelle s'appuie l'hélice, le mouvement sera partagé également entre ces deux résistances et la colonne d'air servant d'appui sera refoulée en arrière avec la même vitesse que le mobile prendra dans la direction opposée, le recul sera alors de moitié. C'est beaucoup trop.

Supposons un ballon fictif dans lequel toutes les résistances additionnées nous donnent au total l'équivalent d'une surface de 12 m² pour le mouvoir, nous emploierons une hélice de 6 m. de diamètre, et par conséquent s'appuiera sur un cercle d'air de πr^2 ou 28 mètres carrés (en chiffres ronds).

Nous aurons donc deux colonnes d'air dont les surfaces des bases seront respectivement 12 et 28 m². Or on peut admettre que les vitesses, dans chaque sens, c'est-à-dire du ballon et de la colonne d'air refoulée par l'hélice, seront proportionnelles à l'importance des points d'appuis qui leur seront offerts : le ballon avancera proportionnellement à 28 et la colonne d'air sera repoussée à l'arrière proportionnellement à 12. Ces deux valeurs étant dans le même rapport que 70 est à 30, on peut conclure que l'avancement sera de 70 o/o du pas décrit par l'hélice, c'est-à-dire que le ballon utilisera pour sa

propulsion 70 o/o du travail disponible, le recul étant de 30 o/o.

Ce sont à ces chiffres que l'on arrive en marine, en employant une seule hélice.

Emplacement. — La position de l'hélice par rapport au dirigeable paraît immédiatement tout indiquée, à l'avant et en tête.

Mais faire passer l'arbre de l'hélice par le centre de pression ne va pas sans de grandes difficultés de construction et sans une notable augmentation de poids. Si on ne réussit pas à obtenir ce résultat par de simples moyens, il est préférable de la laisser dans la nacelle.

L'hélice en tête facilite la bonne tenue du navire aérien précisément à cause de la mobilité de l'air et de la flexibilité des matériaux légers entrant dans la construction.

Les frères Tissandier ont reconnu que, s'ils avaient placé leur hélice à l'avant, les mouvements giratoires qu'ils obtinrent ne se seraient pas produits avec autant d'ampleur.

D'autre part, MM. Renard et Krebs n'ont pas eu à se plaindre de la position de l'hélice à l'avant ; au contraire, si elle avait été placée à l'arrière, les perturbations produites par le gouvernail se seraient fait sentir ; elles auraient plutôt nui à la bonne marche.

Du reste, la position à la proue donne l'avantage de mordre dans un air qui n'a pas encore été troublé par le passage du ballon.

Toutefois, nous ne croyons pas que l'importance de cet emplacement soit capitale : rien ne prouve surabondamment qu'il y ait de grandes différences dans la marche. La position avant nous paraît cependant préférable à cause des considérations que l'on vient de voir, mais on ne peut tirer une conclusion de grande valeur.

Rendement et forme. — Dans sa communication au

Congrès d'aéronautique de l'Exposition de Chicago, un savant hollandais, M. Hastings, dont nous avons déjà parlé précédemment, émet une théorie sur l'hélice aérienne. Voici ce qu'il dit :

« *Il* faudrait créer aussi peu de mouvement que possible dans le milieu ambiant, et cependant, pour obtenir la poussée, il est nécessaire d'agir sur ce milieu qui se met alors en mouvement. La poussée croît avec la masse du fluide attaquée et avec la masse qui lui est imprimée ; la puissance ainsi employée croît avec le carré de la vitesse. La masse fluide devra donc être assez grande et la vitesse aussi petite que possible » (1).

« Pour la même raison, il y aurait intérêt à faire les ailes étroites et peu nombreuses ; deux ailes formeront la meilleure hélice. D'après les lois expérimentales de l'Aérodynamique, les ailes devront être étroites dans la direction du mouvement ; leur section sera parabolique et la fraction de pas la même dans toutes les parties de l'aile. Ces conditions ont été appliquées avec succès aux hélices marines» .

D'après les considérations de M. Hastings, nous voyons clairement qu'il préconise les hélices du premier genre, précisément celles qui ont été appliquées jusqu'à ce jour en France.

Mais les expériences faites jusqu'ici n'ont point définitivement tranché la question. Le rendement des bonnes hélices marines varie entre 0,7 et 0,8 ; en raison des remous et de l'irrégularité des veines fluides, qui sont plus grands dans l'air que dans l'eau, il est à présumer que ce rendement ne sera pas dépassé par l'hélice aérienne. Nous croyons savoir d'ailleurs que le rende-

(1) Cette théorie est la même que celle faite par M. Marcel Deprez au sujet du propulseur aérien, à la séance de la Société des Ingénieurs civils de France du 24 janvier 1902. Nous expliquerons plus loin l'exposé des travaux du savant électricien, membre de l'Institut.

ment maximum atteint jusqu'alors n'a pas dépassé 0,75. Nous avons dit plus haut que ces chiffres n'avaient pas été atteints par l'hélice du ballon *La France*, les essais au point fixe ne pouvant servir d'indication sûre.

D'autre part, les mesures effectuées lors des dernières sorties du célèbre dirigeable ont donné un résultat incertain, car dans ses calculs le colonel Renard a pris comme valeur de la résistance à la propulsion celle qu'il avait évaluée et son évaluation pouvait bien différer quelque peu de la valeur réelle.

En ce qui concerne les ailes étroites et peu nombreuses, les expériences faites jusqu'alors ont confirmé la manière de voir de M. Hastings, mais l'avantage du pas constant ne semble pas démontré : pour les bateaux les hélices à pas variable ayant donné à peu près les mêmes résultats que celles à pas constant.

Deux professeurs de l'Ecole du Génie maritime, MM. Pollard et Dudebout, ingénieurs de la marine, dans leur monumental ouvrage qui a pour titre : *Théorie du navire* (1), dans lequel se trouve largement exposée la théorie de l'hélice, disent :

« L'angle optimum qui rend maximum l'utilisation du plan mince, rend aussi maximum l'utilisation d'un élément hélicoïdal quelconque. Cette justification une fois faite, on reconnaîtra que l'emploi de l'hélice à angle d'attaque constant et optimum qui donne à tout élément de la surface le plus fort rendement qu'il puisse avoir en raison de la distance à l'axe, s'impose pour la construction des hélices propulsives, sous certaines réserves motivées par l'épaisseur des ailes ».

Cette façon de voir, de la part de professeurs aussi compétents, recommande donc l'hélice de M. Drzewiecki (2) à l'attention des constructeurs de dirigeables.

(1) Gauthier-Willars, éditeur (1896).

(2) L'ingénieur russe, M. Drzewiecki, qui a fait de nombreuses études sur l'aviation, a déduit de ses idées une hélice irrégulière

Quant à l'épaisseur des ailes, celle-ci, *a priori*, joue un rôle moins grand dans l'hélice aérienne que dans l'hélice marine, car son épaisseur est moindre et les frottements incomparablement plus petits. On estime même que ces frottements sont presque nuls quand l'hélice est très régulière et la surface bien polie.

D'après toutes ces considérations, la supériorité de l'hélice à pas constant est donc très contestable.

Faisons remarquer, en passant, que M. Hastings qui est un partisan de cette hélice, ne fait point figurer dans sa théorie la notion du pas, mais bien l'angle α : or, on ne voit guère, comment, si le pas est constant, on pourra faire usage des considérations exposées puisque l'angle est évidemment variable.

Les résultats obtenus par les essais d'hélices, notamment ceux du colonel Renard et de M. Drzewiecki, semblent montrer que l'aréodynamique du plan a des propriétés corrélatives dans l'aréodynamique de l'hélice. Cela ne veut nullement dire, comme le prétend M. Hastings, qu'on puisse décomposer celle-ci en une série de plans inclinés auxquels on appliquera séparément le calcul, ainsi qu'on l'a fait pour l'hélice du ballon *La France*. Il conviendra de se défier de ses sortes d'applications, tant qu'on n'aura pas trouvé de formule tenant compte du mode d'écoulement des fluides : c'est ce qu'a montré M. R. Soreau (1) dans sa brochure : *Le problème de la direction des Ballons*, de 1893.

En effet, les formules empiriques trouvées pour un plan, ne peuvent servir à déterminer, d'après les procédés du calcul intégral, la résistance de surfaces, plus complexes : ainsi la formule de Duchemin appliquée au simple cas du cône de révolution donne des résultats qui

frappant l'air en chacun de ses points, suivant cette incidence optima.

(1) R. Soreau, *Le problème de la direction des ballons*, Bernard, édit. (1893).

ne sont pas d'accord avec l'expérience. Il ne peut guère en être autrement, puisque la résistance d'une bande plane inclinée varie suivant qu'elle attaque l'air par son grand ou son petit côté, l'angle d'attaque restant cependant le même.

C'est d'ailleurs pourquoi M. Hastings avait obtenu par ce procédé des chiffres qui cadrent peu avec les mesures expérimentales. Ces résultats peuvent aussi être interprétés comme une preuve de l'inexactitude de la méthode.

Théorie de M. Marcel Deprez relative à la propulsion. — M. Marcel Deprez, dans une communication à la Société des Ingénieurs civils (1) a fait d'intéressantes démonstrations sur la question de propulsion des dirigeables.

Voici comment le savant professeur développe la question : « Lorsqu'un aérostat est animé d'un mouvement uniforme, l'effort qui lui est appliqué par le propulseur est égal à la résultante des pressions résistantes appliquées en chaque point de sa surface par suite de son mouvement dans le milieu considéré. Mais l'effort ainsi développé par le propulseur est nécessairement accompagné d'un effort égal et contraire exercé sur le fluide ambiant.

« Ceci posé, quelle que soit la forme du propulseur, quelles que soient ses dimensions, le principe sur lequel il est basé, la vitesse constante ou périodiquement variable dont il est animé, il doit satisfaire à des conditions très simples qui paraissent cependant avoir été en partie méconnues des personnes qui ont fait construire des dirigeables, ou qui se sont bornées à étudier des projets accompagnés de dessins ».

« On peut distinguer quatre cas :

(1) Communication ayant pour titre : *Calculs et théorèmes relatifs à l'hélice propulsive des aérostats*. Séance du 24 janvier 1902.

« 1° Le ballon flottant dans l'air en repos et maintenu lui-même au repos par un câble horizontal doit exercer sur ce câble, et à l'aide de son propulseur, un effort F » ;

« 2° Le ballon entièrenent libre doit être maintenu immobile dans l'air en mouvement en se servant uniquement, pour cela, du propulseur ;

« 3° Le ballon doit se mouvoir avec une vitesse constante dans l'air en repos ;

« 4° Le ballon doit se mouvoir avec une vitesse donnée dans un courant d'air dont la vitesse est dirigée en sens contraire de la sienne.

« Le premier cas constitue ce qu'on appelle l'épreuve de traction au point fixe.

« Si l'on désigne par F l'effort exercé sur le câble ; par V la vitesse imprimée à l'air dans le sens de l'axe de l'hélice ou du propulseur quelconque employé ; par M la masse d'air ainsi lancée par seconde, par T le travail mécanique fourni au propulseur pendant l'unité de temps par le moteur qui le met en mouvement ; le théorème des quantités de mouvement projetées donne l'équation :

$$F = MV \qquad (1)$$

« D'autre part, en désignant par K le rendement mécanique du propulseur, c'est-à-dire le rapport de la demi-force vive communiquée à la masse d'air (débitée par le propulseur pendant une seconde) au travail absorbé par le propulseur, pendant le même temps, on a :

$$T = \frac{1}{K} \frac{MV^2}{2} \qquad (2)$$

« En divisant cette seconde équation par la première, il vient :

$$\frac{T}{F} = \frac{1}{2K} V \qquad (3)$$

« Le premier membre de cette équation représente la

valeur du travail qu'il faut dépenser dans l'unité de temps uniquement pour produire l'effort statique F.

M. Marcel Deprez donne à ce quotient $\frac{T}{F}$ le nom de prix de l'effort statique. Il joue un grand rôle dans toutes les actions mécaniques produites par les liquides ou les gaz en mouvement, et même dans les forces mises en jeu dans les actions musculaires.

« L'équation (3) nous montre un fait important, c'est que plus est grande la vitesse imprimée à l'air par le propulseur, plus est grand le prix de l'effort statique ».

« Il est donc nécessaire pour économiser le travail dépensé, ou mieux encore, pour produire avec un moteur de puissance donnée le plus grand effort statique possible d'imprimer à l'air la plus faible vitesse possible. Pour rendre ceci plus évident, il suffit de résoudre les équations (1) et (2) par rapport à M et à V, en supposant que l'on se donne l'effort F et le travail T.

« On trouve immédiatement :

$$M = 2K\frac{T}{F}$$

$$V = \frac{F^2}{2KT}$$

« La première de ces deux équations est une confirmation de ce qui a été dit plus haut : la second montre que la masse lancée par le propulseur pendant une seconde doit être en raison inverse de la puissance du moteur, et proportionnelle au carré de l'effort F.

« Appliquons ces formules à un exemple numérique. Supposons qu'on veuille produire sur le câble un effort de 100 k. et que l'on dispose pour cela d'un moteur de 10 chevaux et d'un propulseur dont le rendement K est égal à 0,5. Pour appliquer les formules précédentes, il faut se rappeler que si on prend pour unités de longueur, de force et de temps, le mètre, le kilogramme et la

seconde, il en résulte que l'on doit prendre pour unité de masse celle de g en kilog. (ou 9,81 kg).

On trouve ainsi :

$$M = \frac{10.000}{2 \times 0,5 \times 750} = 13,333$$

$$V = \frac{2 \times 0,5 \times 750}{100} = 7,5$$

Ainsi pour obtenir le résultat demandé, le propulseur devra lancer par seconde, une masse d'air égale à $13,333 \times 9,81 = 130,8$ kg. et animée d'une vitesse de 7 m. 5 par seconde. Or un mètre cube d'air pesant dans les conditions ordinaires de température et de pression 1,2 kg., on voit que le volume d'air lancé par seconde sera de 109 m³, et comme la vitesse d'écoulement est de 7,50 m. par seconde, il en résultera que la section d'écoulement de l'air devra être égale à :

$$\frac{109}{7.5} = 14,5 \text{ mètres carrés}$$

La détermination de la section d'écoulement est d'ailleurs facile. Désignons par μ la masse du mètre cube d'air et par s la section d'écoulement. nous aurons :

$$M = \mu SV$$

$$S = \frac{M}{\mu v} = \frac{1}{\mu} \frac{F^3}{4K^2T^2}$$

(remplaçant M et V par leur valeur).

Cette dernière équation montre que pour obtenir un grand effort de traction F avec une faible dépense de travail T, il faut donner à la section d'écoulement S de l'air, une très grande valeur, et par conséquent un propulseur de très grandes dimensions.

Les trois autres problèmes énoncés au commencement de cette théorie conduisent à des équations beaucoup moins simples que la première, mais la marche du calcul est la même et conduit aux mêmes conclusions.

M. Marcel Deprez dit en terminant que les inventeurs et constructeurs paraissent ignorer cette condition, car ils donnent tous à l'hélice un diamètre et par conséquent une section bien inférieure à celle de l'aérostat.

Enfin il annonce qu'il a lui-même étudié des projets d'aérostats dirigeables dans lesquels cette condition d'avoir de grands propulseurs est facilement remplie, en même temps que le rendement K dont il a donné la définition plus haut, était accru dans une très forte proportion.

Evidemment le savant membre de l'Institut a montré ce que beaucoup savaient déjà, et la science de leur auteur ne permettait aucun doute sur les formules qu'il a exposés avec une grande clarté et rigoureuse exactitude.

Mais n'avons-nous pas, en France, adopté en général cette théorie ?

Le tableau qui a été dressé précédemment le montre : Dupuy de Lôme avait une hélice de 9 mètres, MM. Renard et Krebs, 7 mètres avec *La France* et 9 mètres avec le *Général Meusnier* ; le constructeur-aéronaute G. Yon, dans son projet de Torpilleur aérien, que nous trouverons plus loin, avait indiqué une hélice de 11 mètres.

Ces dimensions sont déjà grandes, elles atteignent et dépassent même parfois le diamètre du ballon au maître-couple.

Considérations diverses

Si le calcul conduit à des propulseurs de grandes dimensions, tournant à un petit nombre de tours, en pratique l'application d'hélices à grandes ailes offre de grandes difficultés.

Tout d'abord : 1° les difficultés de la construction proprement dite de l'hélice ; 2° son poids nécessairement élevé à cause du bras de levier déterminé par le rayon

de l'aile ; 3° l'arbre d'attaque d'un diamètre assez fort pour offrir une résistance suffisante ; et 4° l'extrême rigidité de l'ensemble supportant le propulseur.

D'autre part, les grandes ailes offrent beaucoup de prise au vent lorsque le dirigeable a son moteur arrêté et qu'il veut descendre verticalement et enfin l'encombrement produit n'est pas sans occasionner certaines difficultés à l'atterrissage.

Il y a certainement encore d'autres considérations qui peuvent montrer qu'un propulseur de très grandes dimensions ne peut être employé pratiquement dans la locomotion aérienne, et toutes ces considérations font que quand bien même on voudrait appliquer rigoureusement les calculs théoriques de l'hélice, on est forcé de modifier les chiffres obtenus dans la pratique courante.

Résumé des théories du propulseur ; catalogues d'essais d'hélices aériennes. — Après avoir passé en revue tout ce qui précède, ayant rapport à l'hélice, on se trouve forcé de conclure que la théorie, au point où nous en sommes de la mécanique des fluides, n'offre pas encore d'indications bien précises sur l'hélice aérienne. D'ailleurs la même ignorance enveloppe encore la théorie de l'hélice marine malgré le nombre considérable des essais et la valeur technique des hommes qui y ont procédé ; aussi est-ce surtout à l'expérience que les constructeurs des navires demandent des renseignements. Leur tâche est facilitée par la publication de catalogues où sont soigneusement enregistrés les essais et conditions d'essais des hélices qui propulsent les navires de la marine nationale.

Des catalogues semblables dressés pour les hélices aériennes seraient de la plus haute utilité pour les aviateurs ; il serait désireux que des expériences organisées par des savants français viennent jeter la lumière afin de combler les nombreuses lacunes de ce cercle.

CHAPITRE IV

STABILITÉ

Un navire aérien manque de stabilité quand il se dérange trop de la ligne ou de la trajectoire qui doit le conduire vers un but déterminé. Ces déviations peuvent se diviser en trois parties : 1° la *stabilité longitudinale ou verticale* appelée *tangage* dans le cas des vaisseaux, 2° la *stabilité latérale* appelée roulis ; et 3° la *stabilité de route.*

Les deux premières tendent à ramener automatiquement le ballon à sa position primitive quand il a subi un déplacement vers l'avant ou vers l'arrière ; la troisième doit éviter les mouvements de tête à queue et les mouvements de lacets à la suite d'une embardée ou d'une manœuvre du gouvernail ; cette dernière est indispensable au navire aérien.

Stabilité verticale

Les principaux obstacles qui modifient la stabilité verticale, sont les ruptures d'équilibre qui, actuellement, sont impossibles à éviter.

Ces ruptures d'équilibre, sont indépendantes de la nature du gaz dont est gonflé le ballon, elles sont déter-

minées : 1° par la variation dans le poids de l'aérostat ; 2° par le couple (1) de propulsion dû à l'hélice.

Examinons en détail chacune de ces deux parties.

1) *Variation dans le poids de l'aérostat.* — Ces variations dans le poids, sont dues à la pluie, à la rosée, à la neige, ou simplement à l'humidité.

Pluie. — On a constaté que la pluie occasionne une surcharge équivalente au poids d'une couche d'eau de $\frac{1}{3}$ de millimètre d'épaisseur qui recouvre la moitié de la surface du ballon.

Si S est la surface totale, la surcharge à craindre serait de $\frac{S}{6}$.

Pour un ballon de 2 000 m³, dont la surface est d'environ 766 m² la surcharge serait de :

$$\frac{766}{6} = 128 \text{ k. environ.}$$

Rosée. — La rosée, tend à augmenter légèrement le poids, mais d'une faible quantité.

Neige. — Au cas de neige, il va sans dire que le poids de surcharge, serait plus grand que pour la pluie : nous estimons bien qu'un dirigeable ne sortira pas par les temps de neige, mais cela peut arriver.

Humidité. — L'humidité entre légèrement en ligne de compte, surtout si le dirigeable possède beaucoup de cordages.

Enfin, les variations dans le poids d'air déplacé, suivant la valeur de l'échauffement, les variations de l'échauffement au cours de l'ascension, les inégalités du rayonnement solaire, le passage du jour à la nuit, les fuites inévitables de gaz, tous ces éléments concourent à déterminer des ruptures d'équilibre.

(1) Appelé aussi couple de rappel.

Le mouvement de tangage peut donc être produit par une des causes précédentes ; si, en effet, il se produit une rupture d'équilibre qui donne par exemple une vitesse ascendante v (fig. 54) cette vitesse se compose avec la vitesse V du ballon et la résistance à l'avancement s'exerce suivant la direction α, ce qui augmente beaucoup la résistance et peut amener des complications graves avec les ballons très allongés. Au lieu des moyens

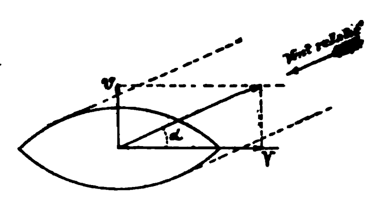


Fig. 54.

rudimentaires habituels, manœuvre de soupape et projection de lest, qui, du reste, ne corrigent le déplacement qu'après qu'il s'est produit, il faudrait une disposition automatique qui est encore à trouver. Toutefois en augmentant la vitesse propre, on assurera de plus en plus la stabilité dans le plan horizontal, de sorte que la disposition automatique désirée n'est réellement utile qu'aux faibles vitesses qui marqueront pendant quelques années encore, les débuts de l'aéromotion.

2) *Couple de rappel.* — Lorsque le propulseur d'un dirigeable se met en mouvement, ce dernier est soumis à l'action d'un couple qui tend à le faire osciller en élevant la proue vers le ciel (1). La puissance de ce couple est

(1) Si la proue se relève, il se produit autre chose : le gaz tend à affluer vers la partie la plus haute et à augmenter le tangage. Il existe un moyen de remédier à cet inconvénient, c'est de cloisonner le ballon.

De cette façon le gaz se trouve emprisonné entre chaque cloison et

mesurée par le produit Fd, d étant la distance de l'arbre de l'hélice où s'applique l'effort de propulsion F au point O, centre de figure du ballon (supposé symétrique) (fig. 55).

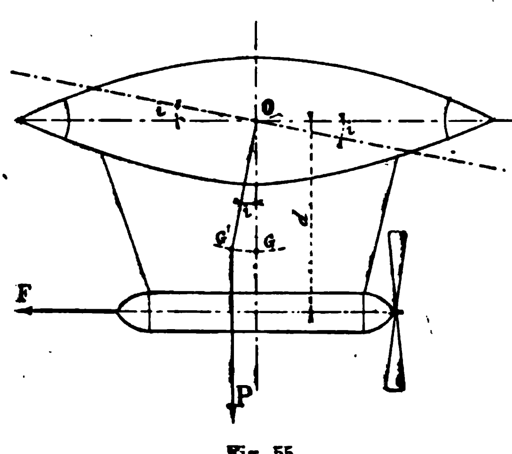


Fig. 55.

Il en résulte, d'une part, une augmentation notable de la résistance, et, d'autre part, des mouvements de tangage quand la force de traction varie. Mais heureusement le ballon est rappelé par un couple contraire POG sin i qui agit lorsque le centre de gravité du système s'est suffisamment écarté de la verticale passant par le centre de figure O, qu'on peut considérer comme centre de suspension.

On a donc : $P\,GO \sin i = Fd$

D'après les calculs de M. R. Soreau, le rapport entre la résistance pour une petite inclinaison i et la résistance pour une inclinaison nulle, peut se présenter approximativement dans le cas d'un ballon symétrique, par la formule :

la stabilité est augmentée. Tous les dirigeables devraient être cloisonnés.

C'est précisément parce que cette méthode avait été suivie que le ballon « *La France* » a pu opérer ses sorties avec peu de déviation.

$$\frac{Ri}{R} = 1 + l^2 \sin^2 \frac{i}{2},$$

l étant l'allongement du ballon.

On tire donc :

$$Ri = R\left(1 + l^2 \sin^2 \frac{i}{2}\right)$$

Pour que la résistance soit doublée, il suffit que l'on ait $\sin \frac{i}{2} = \frac{1}{a}$, ce qui donne 4°,40 pour le ballon de Dupuy de Lôme, et 2°,20 pour un ballon ayant un allongement de 5.

On trouve que la résistance est augmenté de 1/3 en prenant $i = 14°$, c'est-à-dire qu'elle est multipliée par 1,5.

La vitesse est ainsi réduite dans le rapport de 1 à $\sqrt{1,5}$.

Il importe donc, pour un ballon déterminé, que l'amplitude des oscillations ne puisse dépasser une certaine valeur I. Or le couple de rappel dans un ballon de poids P est égal à :

$$P \times GO \times \sin i$$

Il y a donc lieu de calculer GO de façon que l'inclinaison ne devienne pas supérieure à I.

Parmi les causes qui peuvent produire cette inclinaison, les principales sont donc l'instabilité verticale et la distance d entre l'arbre et le centre de résistance.

Il suffit en effet, pour obtenir une oscillation de 3°, que la vitesse du mouvement ascendant ou descendant soit de $6 \times \text{tg } 3° = 0,312$ m., pour une vitesse de marche de 6 m. On voit alors que l'amplitude des oscillations est proportionnelle à la vitesse propre du ballon. Il résulte de là, que la stabilité verticale si désirable dans les dirigeables à faibles vitesses, sera moins importante à réaliser pour des ballons ayant des vitesses de 10 m. et au-dessus.

Quant à la distance d, de l'abre de l'hélice au centre

de résistance, elle intervient, dans les équations, ainsi que nous allons le voir, et il y a intérêt à la diminuer et même à la supprimer.

Reprenons les équations précédentes : quand le propulseur se met en marche, le système s'incline sous la traction F de l'hélice, d'un angle i_0 et on a :

$$Fd = P.\,\overline{GO} \sin i_0$$

d'où :

$$\sin i_0 = \frac{F}{P} \times \frac{d}{\overline{GO}}$$

Si F se modifie, les variations de l'angle produisent le tangage : ces variations sont d'autant plus sensibles que i_0 est grand.

Dupuy de Lome a montré que dans son ballon, l'angle i_0 n'atteignait pas $\frac{1}{2}$ degré, ce maximum correspond au minimum de GO, c'est-à-dire au cas où le lest est jeté et le ballon complètement gonflé. Les variations étaient donc insignifiantes.

Mais l'angle i_0 augmente quand le poids par cheval p diminue.

En effet, soit P_0 le poids du ballon, moteur non compris, on a :

$$\frac{P}{F} = p + \frac{P_0}{F}$$

quand le poids par cheval diminue, il en est de même du rapport $\frac{P_0}{F}$, soit qu'on augmente la traction du ballon sans changer son poids, soit qu'on diminue ses dimensions de façon à conserver les mêmes vitesses.

Or, on tend, dans les dirigeables, à employer des moteurs de plus en plus puissants, de sorte que p est supérieur à $\frac{P_0}{F}$, d'autre part, $\frac{P_0}{F}$ varie dans le même sens que p, on peut donc admettre que $\frac{F}{P}$, et par suite $\sin i$ varie en raison inverse du poids par cheval.

Par conséquent, pour que i_0 ne dépasse pas la valeur qu'on s'est assignée, il est nécessaire de réduire en conséquence le rapport $\frac{d}{GO}$.

Il y a certainement un moyen d'annuler ce rapport ; c'est de faire passer l'arbre de l'hélice par le centre de résistance ainsi que l'ont montré plusieurs projets. Plus loin, nous décrivons le dirigeable de M. Sévero d'Albuquerque qui remplit cette condition. On ne sait pas quels seront les résultats, car il n'y a pas encore eu de sorties effectuées avec ce dirigeable à plusieurs hélices.

Le couple perturbateur est alors supprimé et les mouvements de tangage dus à l'instabilité verticale disparaissent en grande partie.

Quoi qu'il en soit, on ne peut mettre la nacelle trop près du ballon, car il faut laisser au couple de rappel une valeur capable d'éteindre les oscillations fortuites qui peuvent se produire, par exemple sous l'action d'un courant d'air qui n'est pas horizontal.

D'autre part, il est difficile de faire passer l'axe de l'hélice par le centre de résistance, le dispositif de M. Sévero contient cependant deux hélices dans le plan horizontal, une à chaque extrémité, mais quelle a été l'ossature qu'il a fallu construire pour permettre de bien fixer solidement les coussinets des arbres des hélices! Avec des rotations un peu fortes il s'agit de savoir comment va se comporter cette ossature qui détermine une augmentation de poids.

Nous n'avons pas l'intention d'oublier de citer les projets, dans lesquels l'hélice ou les hélices sont situées entre deux ballons, ces procédés se heurtent aux difficultés énoncées plus haut et on ne sait pas encore si les essais seront couronnés de succès.

Stabilité latérale

Cette déviation a lieu moins souvent que la précédente, est due aussi à la rotation du propulseur et aux coups de vent dans le sens perpendiculaire à la marche. Elle se supprime d'elle-même et ne tend pas à se produire à de grandes vitesses. En général le roulis n'influence pas beaucoup la marche du dirigeable. Toutefois, comme le fait remarquer M. Soreau, il y a avantage à employer une proue élargie et une poupe effilée, c'est-à-dire un ballon déssymétrique.

Stabilité de route

Nous arrivons à la condition la plus importante absolument nécessaire pour le problème dont on poursuit la réalisation : la stabilité de route.

Elle est obtenue en général par un gouvernail (1) qui de plus donne, ainsi que dans les bateaux, un simple moyen de modifier la direction suivie. Il est clair que le gouvernail, quelles que soient ses dimensions et sa distance à la verticale qui passe par le centre d'inertie du système, serait impuissant si la résistance variait à chaque instant : tel serait le cas avec un dirigeable incomplètement gonflé. Aussi la permanence de forme (2) doit

(1) Dans certains nouveaux dirigeables en construction, tel que celui de M. Séverо, le gouvernail est supprimé et remplacé par des hélices latérales. Nous ne pouvons fixer aucune idée à ce sujet, les essais n'ayant pas encore eu lieu.

(2) On sait que la permanence de forme s'obtient au moyen du *balonnet compensateur à air*. Le ballonnet est absolument nécessaire et indispensable. Nous avons eu occasion d'en parler précédemment et de montrer quel doit être son volume : $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{8^e}$ du cube total du ballon.

Sa place est toute déterminée au bas du ballon : c'est d'ailleurs la plus rationnelle.

Au sujet de l'insufflation de l'air dans cet organe, un ventilateur

être considérée comme un moyen non seulement de diminuer la résistance à l'avancement, mais *surtout* d'assurer l'efficacité du gouvernail.

L'allongement du dirigeable, en même temps qu'il réduit la résistance, contribue aussi à gouverner en route en diminuant la fréquence des mouvements giratoires et aussi en augmentant le rendement du gouvernail qu'il éloigne du centre d'inertie.

La stabilité de route est donc déjà obtenue par les conditions qui précèdent. Toutefois, ces conditions ne sont pas toujours suffisantes, en particulier quand la vitesse relative change d'intensité ; il se produit alors des embardées, des tête à queue contre lesquels le gouvernail reste impuissant.

Le ballon, par sa forme peut cependant contribuer à assurer la stabilité de sa route : c'est quand il est de forme dissymétrique.

En effet, cette forme éloignant d'abord le centre d'inertie de la pointe arrière, augmente l'efficacité du gouvernail ; nous allons montrer de plus qu'elle tend à assurer la stabilité.

Soient xx' la route suivie (fig. 56), AV la direction du vent, AY celle du vent relatif (qui est celle du cap) AB la longueur figurative de la vitesse propre.

En construisant le parallélogramme des vitesses, on trouve qu'il en résulte pour le vent une vitesse AC. Supposons que brusquement cette vitesse change et devienne AC_1. Dans l'instant très court qui suit cette variation, le dirigeable, en vertu de la vitesse acquise, continue à suivre la route xx' ; d'autre part, la vitesse propre conserve la même grandeur, puisque l'hélice continue à

actionné par un petit moteur spécial doit toujours être prêt à fonctionner. Ce ventilateur doit débiter beaucoup plus qu'il est nécessaire normalement, car à un moment donné on peut avoir besoin de gonfler rapidement le ballonnet afin d'éviter les ennuis que peuvent causer les pertes de gaz.

faire le même nombre de tours. Si donc nous traçons à partir du point C, une droite $C_1 M_1$ égale à CM, nous obtenons une nouvelle direction du vent relatif. Frappé

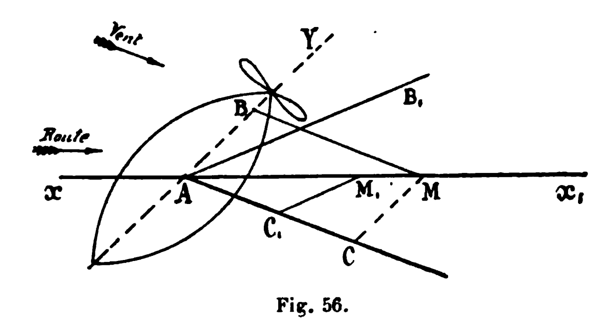


Fig. 56.

par ce vent relatif AB, qui n'est plus dirigé suivant son axe, le ballon se met à tourner autour de la verticale centre d'inertie de façon à se placer dans la direction du vent comme il y était en AB. Dans quel sens cette rotation se fera-t-elle?

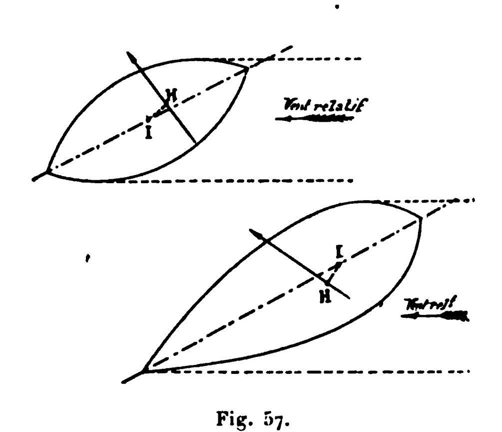


Fig. 57.

La proue se présente au courant tandis que la poupe s'efface ; il est donc clair que dans les ballons symétriques (fig. 57) la poussée tendra à faire exécuter une tête

à queue d'autant plus rapide que le bras de levier IH sera plus grand.

Il est donc d'un certain intérêt de combiner les dimensions d'un ballon dissymétrique, fig. 57 de façon que la proue, malgré son effacement, reçoive la plus grande partie de l'effort du vent, il suffit pour cela qu'elle ait une longueur suffisante. La pression du vent se présente comme l'indique la figure, il y a donc moins à craindre de tête à queue, et quelques oscillations font placer tranquillement le ballon dans le nouvel axe du vent relatif.

La position de l'hélice contribue aussi à assurer la stabilité de route. Placée à la proue, elle facilite la bonne tenue du dirigeable contre le vent. Cette position est tout à fait judicieuse, mais l'hélice a un avantage réel : elle mord dans un air qui n'a pas encore été troublé par le passage du ballon.

En traitant, dans cette seconde partie de ce volume, les expériences de Chalais-Meudon, nous faisons remarquer que les officiers ingénieurs du Parc Aérostatique avaient été satisfaits de la position de l'hélice du ballon *La France* ; d'autre part plusieurs personnes qui ont étudié cette question à fond, estiment que la position à l'avant est préférable.

Enfin les dimensions du ballon lui-même contribuent à faciliter aussi la direction. Ceci se comprend aisément puisque, d'une part, pour deux ballons géométriquement semblables, la force ascensionnelle par unité de volume est plus considérable pour le grand ballon, et que, d'autre part, le poids du cheval-vapeur diminue avec la force à donner aux machines.

CHAPITRE V

MOTEURS LÉGERS POUVANT ÊTRE APPLIQUÉS AUX BALLONS DIRIGEABLES

Il y a nombre d'années, certains chercheurs, en vue de la conquête de l'air, pensaient que la voie la plus rationnelle était d'utiliser les forces naturelles de l'homme comme moteur.

C'est de là que naquit l'aviation et ses appareils : aéroplanes, hélicoptères, hommes volants, etc.

De tous temps, les chercheurs ont eu confiance dans les appareils plus lourds que l'air, et tous les hommes volants sont des aviateurs.

A première vue, le principe d'utiliser sa force humaine est tout à fait rationnel, mais à quelles maigres limites se borne cette force humaine !

A l'heure actuelle, de toutes les tentatives auxquelles la force humaine a été appliquée, aucune n'a entièrement réussi, et les expérimentateurs, dont le nombre est déjà élevé, se sont blessés ou tués.

Il valait donc mieux que, dès le commencement, l'homme s'attachât à des forces motrices autres que la force humaine ou la force musculaire, qui, d'après les expériences, peut être évaluée à un quart de cheval.

Il n'est donc pas capable de voler, même au moyen d'un appareil convenablement disposé dont il serait le moteur unique.

Le premier qui ait cherché à réaliser avec ampleur le si séduisant problème de la direction des ballons, Giffard, avait reconnu l'absolue nécessité d'un moteur léger, et il avait construit à cet effet la petite machine à vapeur de 3 chevaux qui actionnait le propulseur de son dirigeable.

Depuis, la question des moteurs légers a fait des progrès considérables.

Cette question est si complexe, si susceptible de solutions différentes que son étude sortirait des limites du cadre que nous nous sommes tracé.

Ce que l'on peut dire, c'est que la légèreté des moteurs s'obtiendra par le choix judicieux des agents destinés à transformer l'énergie en travail mécanique.

Nous allons donc passer en revue les différentes sources de force motrice : 1° vapeur, 2° électricité, 3° mélanges explosifs. Nous ne nous étendrons pas trop sur les détails, car l'ensemble pourrait former plusieurs volumes.

1° *Vapeur.* — En ce qui concerne les machines à vapeur, tant qu'on emploiera l'hydrogène pour le gonflement, il sera au moins imprudent d'emporter dans la nacelle des machines à foyer dont les étincelles peuvent produire l'inflammation du gaz et provoquer l'explosion du ballon. Cependant, si l'on pouvait isoler le ballon de la nacelle, ou employer une substance incombustible, ce danger pourrait être conjuré.

Mais aussi, ce n'est pas tout, il y a à considérer le poids correspondant à l'approvisionnement.

Ce poids est élevé puisqu'il comprend à la fois l'eau et le combustible. M. Serpollet, l'ingénieur-constructeur bien connu du système qui porte son nom, est arrivé, avec son générateur, à réduire à 191 k. le poids d'une machine de 30 chevaux, soit 6,6 k. par cheval. Mais il faut emporter 10 litres d'eau par cheval, ce qui arrive à donner pour l'ensemble un poids trop élevé.

Peut-être arrivera-t-on à des résultats plus pratiques par l'emploi de turbines à vapeur telles que les turbines Laval, Parsons ou autres.

Mais il y aura toujours un grave inconvénient inhérent au système : un délestage continu de combustible (1) et d'eau, même en admettant que l'on arrive à condenser la vapeur employée, comme le célèbre inventeur Giffard voulait le faire pour son troisième dirigeable.

2° *Electricité.* — La construction des moteurs électriques a fait depuis plusieurs années beaucoup de progrès et l'on obtient aujourd'hui une grande puissance avec un poids relativement minime. Toutefois, cette diminution du poids en raison inverse de la force tend assez vite vers une limite qu'il ne serait pas prudent de dépasser.

Les moteurs électriques ont été employés à plusieurs reprises pour les dirigeables : Wœlfert, les frères Tissandier, MM. Renard et Krebs y ont eu recours.

Ils ont de grands avantages : pas de trépidations, une mise en marche par le simple contact d'un commutateur, un réglage relativement facile. Mais à côté de ces avantages, le grand reproche est le poids élevé du générateur d'électricité, de la pile.

Le poids total (piles et moteur) emporté par MM. Tissandier, pour une durée de 2 h. 1/2, était de 225 kg. pour un moteur de 1 ch. 33, ce qui met pendant cette durée le poids moyen du cheval-heure à 68 kg.

MM. Renard et Krebs emportèrent 400 k. de piles, pour fournir, sans renouvellement de liquide, 9 chevaux pendant 1 h. 3/4, ce qui met le cheval-heure à 25 kg. en moyenne.

(1) Que ce soit charbon, coke, pétrole (avec brûleurs), comme le fait M. Serpollet

Avec les avantages du moteur électrique, signalés plus haut, il n'est pas douteux que si l'on arrivait à trouver une source d'électricité pouvant fournir une grande somme de travail pour un poids assez faible, par exemple des accumulateurs beaucoup plus légers que ceux fabriqués actuellement, on reviendrait à ce genre de moteur.

3° *Mélanges tonnants.* — Comme il ne faut envisager ici que la question de légèreté et de puissance, les moteurs à vapeur et les moteurs électriques sont hors de combat à cause des inconvénients que nous venons de signaler ; c'est au moteur à mélange tonnant que semble devoir revenir l'honneur de résoudre le problème du ballon dirigeable.

Les moteurs à mélange explosif ont d'abord été des moteurs à gaz, tel était le moteur Lenoir dont le nom ne doit pas être oublié, pas plus celui de Hugon qui, un des premiers, songea à employer un hydrocarbure.

Mais c'est à partir du jour où on appliqua le cycle à quatre temps indiqué par Beau de Rochas que ces moteurs ont atteint un degré de perfection qui leur a permis de rivaliser avec les moteurs à vapeur. C'est grâce à Otto, à Daimler, à Levassor, à MM. de Dion-Bouton et à d'autres constructeurs que ces moteurs ont pu être appliqués pour l'automobilisme.

Le développement qu'a pris en France cette locomotion, la vogue toujours croissante de ce sport nouveau, a poussé les constructeurs de moteurs légers en même temps puissants, à rivaliser d'ardeur et à livrer des moteurs dont le poids par cheval atteint un chiffre très faible.

La variété de ces moteurs à essence ou à alcool (1) est très grande, et les constructeurs sont nombreux.

(1) Le premier concours de moteurs à alcool a eu lieu au grand palais, du 16 au 25 novembre dernier, et avait réuni un grand nombre d'exposants.

Parmi les principaux, il faut d'abord citer :

La Société des anciens établissements Panhard et Levassor ;

La Société Mors ;

MM. Buchet et Cie ;

MM. de Dion-Bouton ;

La Société Aster ;

MM. Soncin et Cie, etc.

La Société Daimler de Cannstatt a étudié un moteur qui ne pèserait que 5 kilos par cheval.

La maison Mors étudie aussi en ce moment un moteur dont les principaux organes seraient en aluminium et ne dépassera pas 3 kilos 1/2 ou 4 kilos par cheval. Le grand dirigeable de M. Tatin, qui est terminé et qui sera expérimenté aux prochains beaux jours, possède un moteur Mors de 60 chevaux qui ne pèse guère que 5 ou 5 kilos 1/2 par cheval.

Nous aurons le plaisir de parler plus loin de ce dirigeable de 2.000 mètres cubes.

Le moteur Buchet de 20 chevaux à 4 cylindres, que possédait M. Santos-Dumont sur ses derniers dirigeables, ne pesait pas plus de 5 kilos par cheval.

Enfin, on nous promet du 3 k. ou 3 k. 1/2 ! Où ironsnous donc dans cette voie ?

Cette question des moteurs à essence étant présente aux yeux de tous, par suite de la grande vogue de l'automobilisme et par suite des derniers essais de M. Santos-Dumont, il est, croyons-nous, superflu de s'étendre sur ce sujet ; d'ailleurs, un nombre respectable de volumes traitant des moteurs à essence sont à la portée de toutes les personnes pouvant s'y intéresser.

Il est bien certain qu'en ce qui concerne la locomotion aérienne il y aura toujours avantage à diminuer le poids du moteur, afin de pouvoir mieux affecter le poids rendu disponible à la stabilité, c'est-à-dire employer ce poids pour enmener plusieurs voyageurs, transporter les

objets d'approvisionnements, les instruments vérificateurs et peut-être même, plus tard, augmenter le confortable de la nacelle.

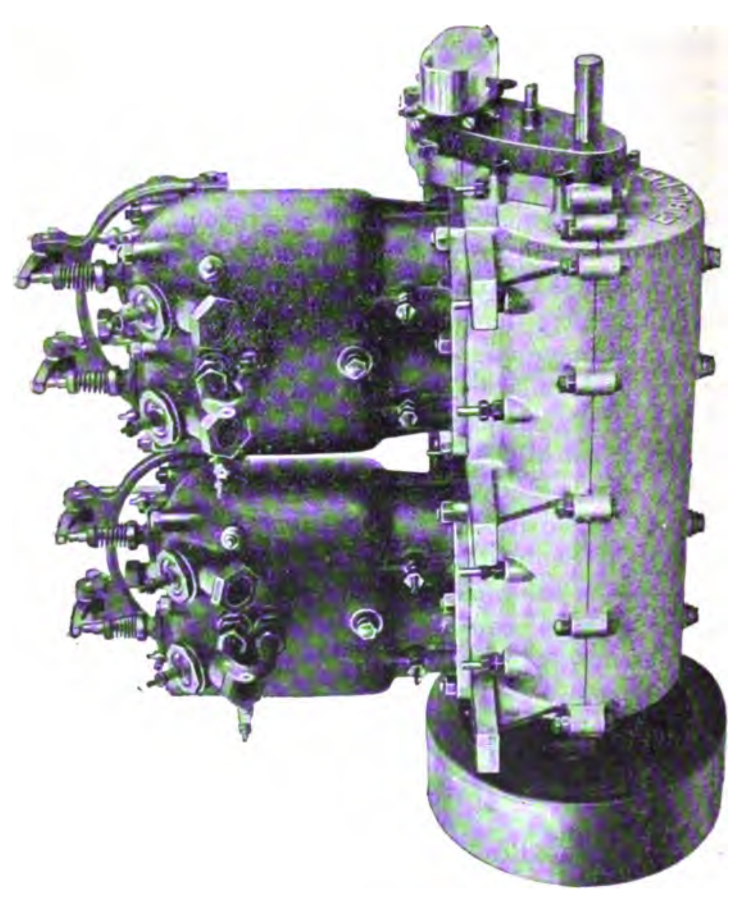


Fig. 58. — Moteur Buchet de 40 chevaux.

C'est sous ce rapport que l'on doit souhaiter de nouveaux perfectionnements, qui conduiront non seulement à une meilleure régularité, mais encore permettront de parvenir à l'extrême limite de la légèreté.

Règles pouvant servir de base à la construction des ballons dirigeables

Après avoir exposé les principales conditions qui doivent présider à la construction des dirigeables, il nous est maintenant facile de les résumer ; c'est ce qui va être fait plus loin.

Déjà, en 1886, le colonel Renard avait formulé des règles pour la construction des navires aériens en air calme. Il faut, disait-il, abstraction faite de la stabilité en altitude :

1° Donner à l'aérostat une forme allongée analogue à celle des bateaux ;

2° Assurer la permanence de sa forme au moyen d'un ballonnet intérieur permettant de remplacer le gaz absent par de l'air atmosphérique ;

3° Compléter la stabilité longitudinale déjà améliorée par le ballonnet en reliant la nacelle au ballon par une suspension rigide à réseaux triangulaires ;

4° Installer un propulseur de dimensions convenables et le commander par un moteur aussi puissant que possible, relativement au faible poids qu'on peut lui consacrer ;

5° Placer à l'arrière, comme dans les bateaux, un gouvernail permettant de changer la direction de la route.

A ces règles, on peut ajouter les quelques indications suivantes, qui ont été reconnues nécessaires par suite des dernières expériences :

1° Employer un ou deux moteurs à mélange tonnant aussi bien équilibrés que possible, dont l'allumage soit assuré par un distributeur électrique pour éviter tout raté dans l'un des cylindres ;

2° Rapprocher l'arbre de l'hélice motrice de l'axe longitudinal, c'est-à-dire de la droite passant par le centre de pression, en laissant toutefois une distance suffisante

pour avoir de la stabilité par la valeur du couple de rappel ;

3° Chercher à rendre automatique le déplacement d'un poids mobile destiné à rétablir l'équilibre ;

4° Faire usage d'un ou deux moteurs facilement réglables pour faire donner tout leur travail dans des limites voulues, afin de se prêter aux variations inattendues de la résistance ;

5° Pour les gros aéronats, employer deux hélices propulsives, une à l'avant et l'autre à l'arrière, commandées par deux moteurs distincts.

Telles sont, au moins, les conditions à remplir pour que les dirigeables conçus d'après les principes développés dans toute cette partie de l'ouvrage soient à même de rendre des services et de bien utiliser la puissance de leur moteur.

Dès lors leur valeur sera mesurée d'après la vitesse obtenue. Pour avoir une vitesse V, il faudra combiner tout l'ensemble, le propulseur et le moteur, de façon que :

$$V = \frac{Tr}{R}$$

T étant la force sur l'arbre de la machine, R la résistance à l'avancement qui correspond à la vitesse V, r le coefficient de réduction entre le travail de traction et le travail sur l'arbre, ce coefficient est fonction du rendement de l'hélice et des engrenages intermédiaires.

Les valeurs de R et de r dépendent l'une et l'autre de l'air sur les surfaces : nous avons consacré toute une partie de ce volume à les évaluer et à rechercher leurs valeurs les plus avantageuses.

TROISIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

PROJETS ET ESSAIS TENTÉS JUSQU'A CE JOUR

Examinons maintenant les tentatives de direction qui méritent de fixer l'attention. Elles sont nombreuses, et plus nombreux encore les projets qui n'ont pas été exécutés. En procédant par ordre, il faut remonter à 1783 car le premier projet est celui du général Meusnier.

Dirigeable du général Meusnier

Meusnier (1), alors simple lieutenant de génie, mais déjà membre de l'Académie des sciences, fit une série de recherches sur les ballons, et rédigea un projet de

(1) Le lieutenant Meusnier (1755-1793) qui devint général, était au dire de Monge, son professeur, « l'intelligence la plus extraordinaire qu'il ait jamais rencontrée ». A la suite de nombreux travaux sur l'aérostation naissante et sur d'autres sujets, il fut nommé membre de l'Académie des sciences le 31 janvier 1784 à l'âge de 29 ans.

M. le lieutenant de génie Létonné a rédigé sur le ballon de Meusnier une note très intéressante communiquée le 26 juillet 1886 à l'Académie des sciences par M. le colonel Perrier (colonel Renard, Conférences sur la navigation aérienne, 1886).

machine aérostatique dans lequel il expose avec une grande netteté les principes généraux de la navigation aérienne.

Son projet de ballon dirigeable, rédigé à Cherbourg, date de 1783. A cette époque, on ne pouvait songer à d'autres moteurs que la force humaine, aussi le ballon devait être mû à bras d'hommes. Il consistait en une sorte d'ellipsoïde de révolution, un véritable œuf gigantesque de 260 pieds (84 m. 50) de longueur et 130 pieds (42 m. 25) de diamètre au milieu, son volume était de 80 mille mètres cubes.

Le lieutenant de génie s'était préoccupé de maintenir au ballon une forme invariable, et il espérait en outre pouvoir modifier la force ascensionnelle de son navire aérien en comprimant plus ou moins les fluides qui y étaient renfermés.

Pour obtenir ce double résultat, il composait son appareil d'une enveloppe extérieure en étoffe très solide renforcée par des sangles ». Dans cette enveloppe, dite « de force » était placé le ballon à gaz en étoffe légère et imperméable.

Ce ballon n'était jamais gonflé à refus, et le volume de l'enveloppe extérieure était complété par de l'air que des soufflets devaient envoyer dans l'intérieur compris entre les deux parois. Ce dispositif constituait donc en quelque sorte le ballonnet compensateur employé aujourd'hui par tous les aéronautes.

A côté de ces idées ingénieuses, le propulseur proposé était une véritable hélice (1). Il se composait de plusieurs palettes frappant l'air obliquement et qu'il désigne sous le nom de rames tournantes. Ce propulseur était celui qui devait être appliqué beaucoup plus tard à la nouvelle locomotion.

(1) L'idée d'employer pour la navigation, des appareils qui rappellent l'hélice est antérieure à Meusnier. Hureau de Villeneuve, ancien président de la Société française de navigation aérienne, l'a trouvée dans les manuscrits de Léonard de Vinci.

Le ballon de Meusnier n'a jamais été exécuté, mais son projet n'en constitue pas moins un des plus remarquables et des plus rationnels qui aient été faits sur la question. Ce projet était d'ailleurs étudié dans le plus grand détail et l'auteur a laissé à la postérité un album de mémoires du plus haut intérêt.

Dirigeable des frères Robert

Les frères Robert, habiles constructeurs d'instruments de physique, dont les ateliers étaient situés près de la place des Victoires, s'adonnaient à l'aérostation et avaient déjà à leur actif plusieurs ascensions.



Fig. 59. — Dirigeable des frères Robert.

Ils eurent l'idée de construire en 1784, d'après les idées de Meusnier et de Brisson, un aérostat allongé qui avait une forme ellipsoïdale et dont la hauteur avait 18 mètres et le diamètre 12 mètres. A l'intérieur se trouvait un petit ballon rempli d'air destiné à suppléer à l'emploi de la soupape et permettant de monter et de descendre sans perdre de gaz.

A la nacelle, un peu allongée, on avait adapté un large gouvernail et deux rames en taffetas dans l'espoir de se diriger.

La première ascension eut lieu le 15 juillet 1784, et à 8 heures, les deux frères Robert, Collin-Hullin et le duc de Chartres s'élevèrent du parc de Saint-Cloud en présence d'un grand nombre de curieux arrivés des lieux environnants.

Mais cette ascension faillit tourner en catastrophe ; le ballon agité par les coups de vents violents et répétés ne pouvait aucunement se diriger, les aéronautes arrachèrent le gouvernail et les rames et voulurent pour s'alléger, se débarasser du petit ballonnet intérieur. Mais les cordes étant coupées, celui-ci tomba et vint s'appliquer à l'intérieur juste au-dessus de l'orifice de l'aérostat dont il fermait complètement l'ouverture. Dans les régions supérieures le ballon, frappé par le soleil, avaient ses parois gonflées au point d'éclater sous la pression ; on était parvenu à 4.800 mètres !

Dans ce moment critique, le duc de Chartres prit un parti désespéré, il saisit un des drapeaux qui ornaient la nacelle et avec le bois de lance, il troua en deux endroits l'étoffe : il se fit aussitôt une ouverture de 2 à 3 mètres, et le ballon descendit avec une vitesse effrayante. Sur le point de tomber dans un étang, les aéronautes jetèrent tout leur lest et réussirent à atterrir à quelque distance de l'étang de la Garenne dans le parc de Meudon.

La deuxième ascension eut lieu à Paris le 19 septembre de la même année et ne donna, bien entendu, aucun résultat.

Projet Scott

Cinq ans après, en 1789, le capitaine de dragons Scott de Martinville, faisait un projet de ballon dirigeable, préconisant l'emploi du ballonnet, qu'il comprimait ou dilatait en agissant sur l'enveloppe extérieure afin de rendre le système plus lourd ou plus léger que l'air,

condition indispensable, tant souhaitée des aéronautes.

Mais ce projet, quoique ayant réuni un assez grand nombre de souscripteurs, ne fut pas exécuté par suite de la gravité des événements politiques que la Révolution fit éclore.

Projets de Lennox et d'Eubriot

Par la triste déconvenue qu'éprouva, le 16 août 1834, M. de Lennox avec son navire aérien *L'Aigle*, on peut juger du sort qui attendait certains projets-rêveries si on eût voulu les transporter dans la pratique.

M. de Lennox, ancien colonel d'infanterie, avait jeté toute sa fortune, une centaine de mille francs, dans la construction d'un dirigeable de 50 mètres de longueur, sur 20 mètres de hauteur. Ce dirigeable portait une nacelle de 20 mètres de longueur, pouvant enlever 17 personnes, il était muni d'un grand gouvernail et de rames tournantes.

« Le ballon est construit, disait le programme, au moyen d'une toile préparée de manière à contenir le gaz pendant près de 15 jours ». Hélas ! on eut toutes les peines du monde à faire parvenir jusqu'au Champ-de-Mars la malheureuse machine qui pouvait à peine se soutenir. Elle ne put s'élever et la foule la mit en pièces.

Un autre essai exécuté à Paris par M. Eubriot au mois d'octobre 1839, ne réussit pas mieux. Ce mécanicien avait construit un aérostat de forme allongée, offrant à peu près la figure d'un œuf. Il présentait cet œuf par le gros bout. Une fois la colonne d'air entamée par le gros bout, le reste, disait-on, devait suivre sans encombre. Or ce résultat ne pouvait être obtenu par les faibles moyens de propulsion auxquels on avait recours et qui se bornaient à deux moulinets mus par les bras de l'homme.

Projets Dupuis-Delcourt, Transon et Petin

Nous pouvons citer encore le projet d'une machine aérienne dirigeable qui fut conçue par Dupuis-Delcourt, qui devint secrétaire perpétuel de la société Aérostique et Météorologique de France.

C'était un ballon de forme ellipsoïdale soutenant un plancher sur lequel fonctionnait un arbre mis en mouvement par un engrenage et une manivelle.

Cet arbre qui s'étendait depuis le milieu de la nacelle jusqu'à son extrémité, était muni d'une hélice destinée à faire avancer l'appareil horizontalement.

« Pour obtenir l'ascension ou la descente entre l'aérostat et la nacelle, on dispose, disait Dupuis-Delcourt, un châssis recouvert d'une toile résistante et bien tendue. Si l'aéronaute veut s'élever, il abaisse l'arrière du châssis et la colonne d'air glissant en dessous fait monter la machine. S'il veut descendre, il abaisse le châssis par devant, l'air qui glisse en dessus oblige l'appareil à descendre.

Cette disposition était absolument dangereuse et dans une atmosphère un peu agitée elle pouvait déterminer de grands ennuis et peut-être une catastrophe. En raison de la grande surface que présentait le châssis, la nacelle eût été précipitée à terre.

Un ingénieur des mines qui, en 1844 gardait l'anonyme, parce que la grande question exposée ici n'était pas encore prise en tutelle par le public, Abel Transon (1) a écrit dans le *Magasin pittoresque* de cette époque, des articles qui décrivent un aéronef de son système.

(1) Ancien élève de l'Ecole Polytechnique (promotion 1823) de l'Ecole des Mines (promotion 1825) devint plus tard examinateur d'admission à l'Ecole Polytechnique.

Cet aéronef se composait de deux ballons conjugués dont la force ascensionnelle était inégale : l'un devait s'enlever dans les hautes régions, l'autre s'arrêter dans une région inférieure et plus calme ; le premier devait trouver un appui dans le second, comme le vaisseau trouve un appui dans l'eau pour résister aux vents contraires.

Quelques années plus tard, en 1850, à la suite de la faveur nouvelle que le caprice de la mode vint rendre à cette époque aux ascensions et aux expériences aérostatiques un inventeur nommé Petin, ancien bonnetier de la rue St-Denis, que n'avait point découragé l'insuccès de ses nombreux devanciers, traça au mois de juin le plan d'une sorte de vaisseau aérien.

Petin réunissait en un système unique quatre aérostats à gaz hydrogène reliés par leur base à une charpente en bois qui formait comme le pont de ce nouveau vaisseau. Sur ce pont s'élevaient, soutenus par des poteaux, deux vastes châssis garnis de toiles, disposes horizontalement.

Nous ne voulons pas décrire ce projet qui présentait un vice irrémédiable et qui de plus n'avait aucun moteur. L'inventeur parcourut la France en 1851 pour recueillir les moyens de l'exécuter en grand.

Dans les différentes villes qu'il parcourait, il donnait des conférences publiques, vouant à l'anathème les savants et la science qui condamnaient son entreprise.

Quoi qu'il en soit, au mois de septembre 1851 le gigantesque appareil était construit. Malheureusement le préfet de police partagea l'avis des savants et l'autorisation demandée par Petin pour exécuter son ascension lui fut refusée par la crainte très légitime de compromettre la vie des personnes qui devaient l'accompagner.

L'inventeur passa en Angleterre et de là en Amérique ; il fit une ascension à New-York en compagnie d'un

aéronaute nommé Chevallier. Mais ils tombèrent à la mer où l'on eut grand'peine de les retirer. Petin se rendit ensuite à Mexico où il exécuta une seule ascension qui réussit mal. De là il revint en France, après sa malheureuse campagne dans le Nouveau Monde et mourut à Paris peu d'années après.

Projet Sanson père et fils (1)

A peu près à la même époque, Sanson père et fils imaginèrent un ballon dirigeable dont il ne paraît avoir jamais existé que de petits modèles.

C'était une sorte de volumineux poisson en toile vernie (fig. 60) munie d'une vessie natatoire (dispositif de Meusnier) pour la montée et la descente facultatives sans jeu de lest ou perte de gaz, et garni de propulseurs mis en marche de la nacelle au moyen de volants actionnés par l'équipage.

L'avant de ce dirigeable était protégé par une couverture en tôle et l'arrière était garni d'une vaste surface de toile triangulaire disposée verticalement et devant faire office de gouvernail.

Les propulseurs étaient des roues à larges palettes courbes fixées à l'équateur qui était un solide cercle en bois.

Ce système n'a jamais été expérimenté en grand malgré les demandes pressantes des inventeurs et leurs appels réitérés au public : il est plus que probable que si on l'avait essayé, les résultats auraient été plus que médiocres, étant donné l'absence de toute force motrice sérieuse. Le moteur humain ne peut d'ailleurs être

(1) Le premier projet date de 1841. M. L. Godard a bien voulu nous procurer la brochure originale d'où la fig. 60 a été extraite. On remarquera qu'en outre des roues à palettes, un mécanisme d'ailes latérales est représenté à l'équateur du ballon.

employé en navigation aérienne, il est beaucoup trop lourd, sa puissance beaucoup trop faible et trop vite

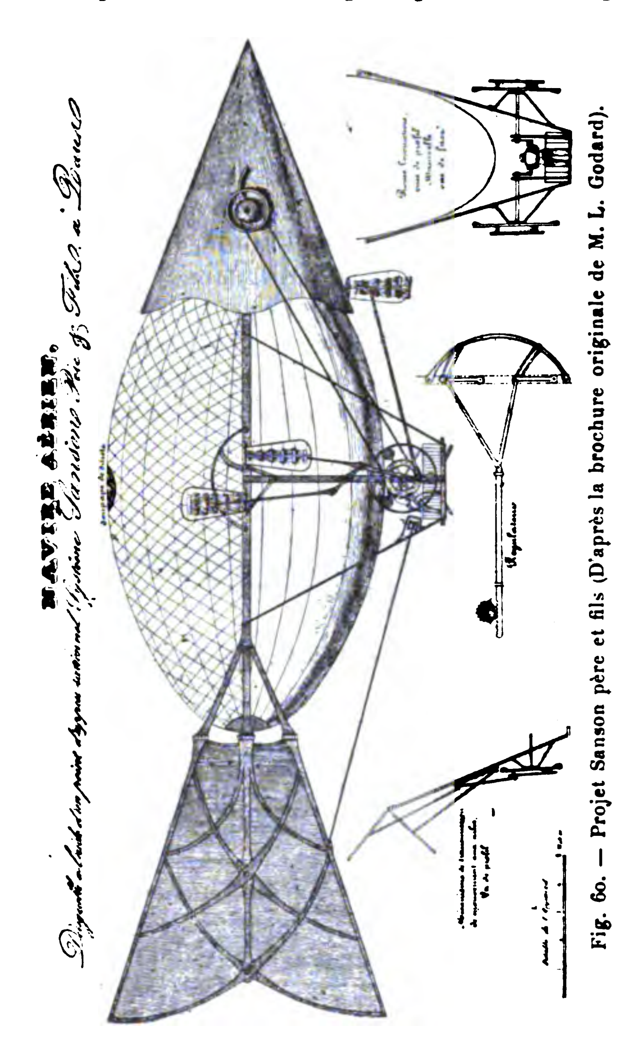


Fig. 60. — Projet Sanson père et fils (D'après la brochure originale de M. L. Godard).

épuisée pour qu'il soit mis en ligne de compte. C'est ce que malheureusement on a été trop longtemps à reconnaître.

Dirigeable de Jullien

Un horloger mécanicien de Paris, Jullien (1) dont les inventions diverses ne se comptaient plus, construisit en 1850 un dirigeable qui constituait un véritable progrès à cause de sa forme en fuseau et de sa dissymétrie (fig. 61).

L'essai eut lieu le 6 novembre de la même année, dans l'enceinte de l'Hippodrome de l'Etoile, dirigé alors par le fameux Arnaud qui, plus tard, devait prendre place dans la caricature (2) aérostatique du bouillant Nadar, dont l'entrain extraordinaire et l'enthousiasme unique réveillaient les esprits endormis; cet essai, donna quelque résultat, car le ballon partit contre le vent et put y rester quelques instants.

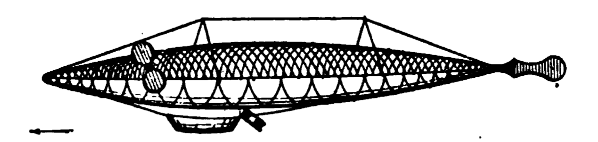


Fig. 61. — Dirigeable de Jullien.

Les ailes que l'inventeur avaient placées de chaque côté de l'aérostat, avaient aussi le mérite de constituer de véritables hélices; mais le moteur qui les actionnait, un simple mouvement d'horlogerie, était absolument insuffisant.

Cet intrépide chercheur aurait peut-être obtenu des résultats plus favorables si sa position de fortune n'avait mis obstacle à de nouveaux essais.

(1) Jullien obtint plus tard le prix de la Société aérostatique, pour la disposition de ses hélices aériennes.

(2) Les aventures de Barnichon (dessins de Nadar 1855) et bien d'autres analogues.

Dirigeables de Giffard.

Deux ans après l'essai de Jullien, le premier dirigeable conçu par un ingénieur de haut talent, donnait une formidable poussée à l'aérostation.

Henry Giffard (1), dont il est superflu de faire l'éloge et dont l'esprit à la fois inventif et hardi avait été attiré par la grandeur du problème de la direction des ballons, prenait le 20 août 1851, sous le n° 12226, un brevet ainsi conçu : *Application de la vapeur à la navigation aérienne.* Quand on lit ce brevet où l'auteur décrit le premier aérostat à vapeur et à hélice, en établissant les calculs mathématiques de sa construction, dans son ensemble et dans les détails, on est frappé de la netteté de vue et de la précision de ce travail (2).

(1) Henry Giffard (1825-1882) fit ses études au Collège Bourbon, et en 1839 et 1840, alors qu'il n'avait que 15 ans, il s'échappait de pension pour aller voir passer les locomotives du chemin de fer de Paris à St-Germain. La science mécanique et la science aérostatique. lui sont redevables de belles inventions, et les ballons captifs de 1867 et de 1878 furent conçus et exécutés par lui.

(2) Cette copie du brevet de 1851 que nous avons pu nous procurer a son analyse mathématique divisée en 3 parties : 1° l'aérostat et le propulseur ; 2° le moteur à vapeur ; 3° Le poids total de force ascensionnelle.

Dans la première partie, le calcul de la résistance de l'air contre l'aérostat est donné par la formule :

$$R = K \frac{\delta A V^2}{2g} + b\delta S V^2$$

Ou simplement :

$$R = \left(K \frac{A + bS}{2g}\right) \delta V^2$$

le premier terme de la parenthèse se rapportant à la résistance directe et le second au frottement de l'air contre toute la surface latérale.

Dans cette formule, R est la résistance en *kg*, K et *b* sont deux coefficients qui dépendent, le premier de la forme de la proue et de la poupe ou de la résistance directe ; le second du frottement dont la valeur est assez variable, à ces coefficients, les valeurs ont

« Que faire, dit le jeune ingénieur, de la forme qu'il faut donner à l'aérostat pour réduire au minimum la résistance du milieu, ou en d'autres termes, pour faciliter au plus haut point le passage de cette masse à travers l'atmosphère ? La réponse se fait naturellement, et d'ailleurs les peuples les plus anciens et les moins civilisés, en construisant leurs flèches ou leurs canots nous en ont fourni le moyen : il faut donner au volume gazeux le plus grand allongement possible dans le sens de son mouvement, de telle sorte que l'étendue transversale qu'il offre et de laquelle dépend en grande partie la résistance, soit diminuée dans la même proportion ».

L'inventeur fait remarquer que le cylindre, si on le terminait par deux surfaces planes, ces surfaces n'entameraient pas le milieu et se déformeraient, c'est pourquoi il adopte le volume formé par la révolution d'un arc de cercle autour de sa corde. Mais un aérostat de cette forme allongée se tiendra-t-il en équilibre dans l'atmosphère ? Dans quelles conditions agira l'hélice mise en mouvement par une machine à vapeur ?

été prises K = 0,045 et b = 0,00010 ; A est la projection en mètres de la surface de l'aérostat sur un plan perpendiculaire à la direction de son mouvement : 28 m² 27 ; S la surface exposée au frottement : 560 m² environ ; V la vitesse relative : 10 m. par seconde et g, l'intensité de la pesanteur soit 9,8088.

Enfin δ désigne le poids du mètre cube d'air, à 20° centigr. et à 75° de pression barométrique obtenu ainsi qu'il suit :

$$\delta = \frac{75}{75} \times \frac{1{,}2991}{1 + 0{,}00375 \times 20^{\circ}} = 1 \text{ k. } 193$$

Giffard avait obtenu comme valeur de la résistance totale :

$$R = 0{,}045 \ \frac{28{,}27}{2 \times 9{,}8088} + 0{,}00010 \times 560) \ 10^{2} \times 1{,}193 = 14 \text{ k. } 3.$$

En ce qui concerne la vitesse de l'hélice, l'inventeur avait déterminé aussi par le calcul qu'il lui fallait 1,90 tours par seconde sans compter le recul, ce qui faisait 2,6 tours (recul compté), soit 156 tours par minute.

Quant aux autres calculs, ils sont très concis et montre que la science de l'ingénieur avait été fort bien appliquée à l'époque.

L'expérience seule pouvait répondre à ses questions. Giffard ne tarda pas à y avoir recours. Il étudia un moteur très léger, marchant à grande vitesse.

Quelques personnes se rappellent encore avoir vu l'inventeur exhiber aux ateliers Flaud, vers 1850 ou 1851, une petite machine à vapeur qu'il avait construite avec les frères Flaud (1), et qui, pesant 45 kilogr., avait une force de 3 chevaux à 300 tours par minute.

Avec le concours de ses amis David, Sciama et Cohen, anciens élèves de l'Ecole Centrale, tous morts depuis, Giffard étudia et fit construire le premier dirigeable actionné par la vapeur.

Faut-il se demander si la crainte s'empara d'un grand nombre de personnes peureuses, apprenant qu'une chaudière chauffée au coke, possédant comme toutes les autres, un foyer de dimensions ordinaires, allait être placée sous un ballon en toile si mince, rempli de gaz d'éclairage ! Qui donc aurait osé tenter semblable forfait ?

Le jeune inventeur n'avait aucune crainte à ce sujet l'installation d'un pareil moteur au-dessous d'un réservoir de 2.500 mc. ne constituait pas pour lui un réel, danger.

Laissons la plume à Henry Giffard qui s'exprime ainsi après l'essai de son premier dirigeable :

« L'appareil aéronautique dont je viens de faire l'expérience a présenté pour la première fois dans l'atmo-

(1) Henri et Gustave Flaud contribuèrent avec Giffard au développement de la machine à vapeur et d'autres appareils. Ce fut en 1850 que Giffard s'associa avec les deux frères, et fit la fortune de cette maison.

Plus tard, les ingénieurs de la maison Flaud, MM Corot, Cohendet. et leurs amis G. Tissandier, Gustave Doré, Emile Barrault, Wilfrid de Fonvieille se réunissaient souvent à l'heure du déjeuner. à un des restaurants du rond-point des Champs-Elysées : il n'est nullement besoin de se demander si l'aéronautique faisait les frais de la conversation.

sphère la réunion d'une machine à vapeur et d'un aérostat d'une forme nouvelle et convenable pour la direction.

« Cet aérostat est allongé et se termine par deux pointes, il a 12 m. de diamètre au milieu et 44 m. de longueur; il contient environ 2,500 mètres cubes de gaz; il est enveloppé de toutes parts, sauf à la partie inférieure et aux pointes. d'un filet dont les extrémités ou *pattes d'oie* viennent se réunir à une série de cordes fixées à une traverse horizontale en bois de 20 m. de longueur ; cette traverse porte à son extrémité une voile triangulaire assujettie par un de ses côtés à la dernière corde partant du filet et qui lui tient lieu de charnière ou axe de rotation.

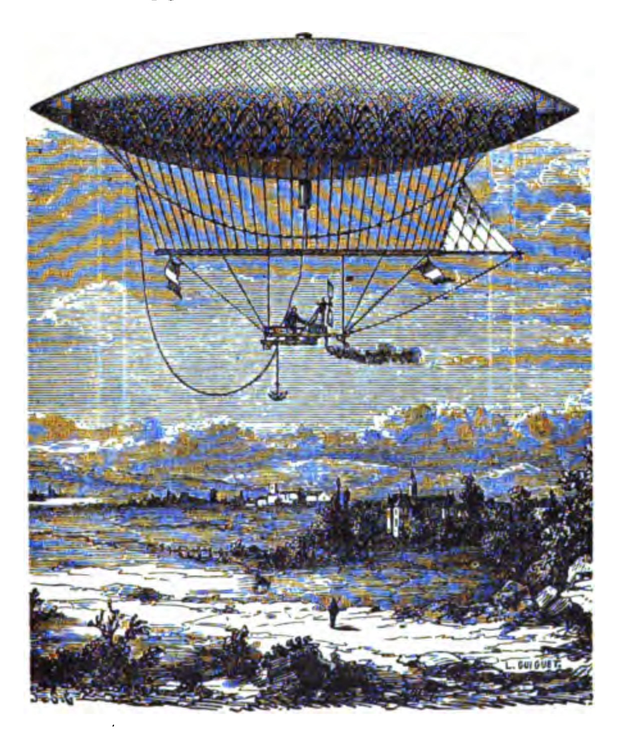
« Cette voile représente le gouvernail et la quille, il suffit, au moyen de deux cordes qui viennent se réunir à la machine, de l'incliner de droite à gauche, pour produire une déviation correspondante à l'appareil et changer immédiatement de direction. A défaut de cette manœuvre, elle revient aussitôt se placer d'elle-même dans l'axe de l'aérostat, et son effet normal consiste alors à faire l'office de quille ou girouette, c'est-à-dire à maintenir l'ensemble du système dans la direction du vent relatif.

« A 6 m. en dessous de la traverse, sont suspendus la machine à vapeur et les accessoires.

« Elle est posée sur une espèce de brancard en bois dont les quatre extrémités sont soutenues par des cordes de suspension, et dont le milieu, garni de planches, est destiné à supporter les personnes et l'approvisionnement d'eau et de charbon.

La chaudière est verticale à foyer intérieur sans tubes ; elle est entourée extérieurement en partie d'une enveloppe de tôle qui, tout en utilisant mieux la chaleur du charbon, permet au gaz de la combustion de s'écouler à une plus basse température ; la cheminée est dirigée de haut en bas et le tirage s'y opère au moyen de la vapeur

qui vient s'y élancer avec force à sa sortie du cylindre, et qui en se mélangeant avec la fumée, abaisse encore considérablement la température tout en les projetant dans une direction opposée à celle de l'aérostat.



Fig, 62. — Premier dirigeable de Giffard (1852).

« La combustion du charbon a lieu sur une grille complètement entourée d'un cendrier, de sorte qu'en définitive, il est impossible d'apercevoir extérieurement la moindre trace de feu.

« La vapeur produite se rend aussitôt dans la machine proprement dite ; celle-ci est à un cylindre vertical, dans lequel se meut un piston qui, par l'intermédiaire d'une bielle, fait tourner l'arbre coudé placé au sommet. Celui-ci porte à son extrémité une hélice à 3 palettes de 3 m. 40

de diamètre destinée à prendre le point d'appui sur l'air et à faire progresser l'appareil. La vitesse de l'hélice est de 110 tours par minute et la force que développe la machine est de 3 chevaux, ce qui représente la puissance de 25 à 30 hommes ».

« Le poids du moteur proprement dit, indépendamment de l'approvisionnement et de ses accessoires, est de 100 k. pour la chaudière, de 50 k. pour la machine, soit 50 k. par cheval-vapeur ».

« De chaque côté de la machine se trouvent deux bâches, dont l'une contient le combustible et l'autre l'eau destinée à remplacer celle qui disparaît par l'évaporation. Une pompe, mue par la tige du piston sert à refouler cette eau dans la chaudière.

« L'appareil moteur est monté tout entier sur des petites roues, mobiles en tous sens, ce qui permet de le transporter facilement à terre ».

Gonflé au gaz d'éclairage, le dirigeable de Giffard avait une force ascensionnelle de 1.800 k., distribués comme il suit :

Aérostat avec la soupape	320 k.
Filet	150
Traverses, cordes de suspension, d'amarrage, gouvernail	300
Machine et chaudière vide.	150
Eau et charbon au moment du départ . . .	60
Châssis, brancard, planches, roues mobiles, bâches	420
Corde et ancre	80
Poids de l'aéronaute.	70
Force ascentionnelle nécessaire au départ . .	10
Total . . .	1.560 k.

Il restait donc à disposer d'un poids de 240 k. que l'on avait affecté à l'approvisionnement d'eau et de charbon et par conséquent de lest.

Quant à la machine, elle était admirable pour l'époque ; elle réalisait déjà une partie des progrès qu'en dix années, de 1851 à 1861, cet inventeur de génie fit accom-

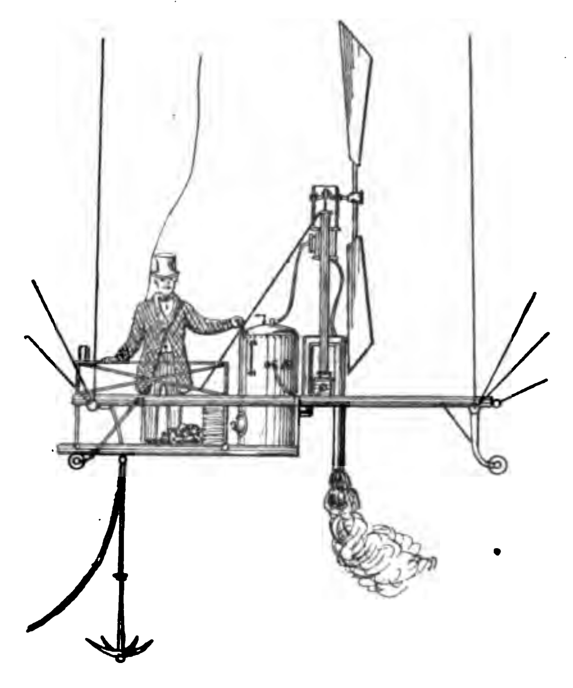


Fig. 63. — Chaudière et machine à vapeur du dirigeable de 1852.

plir à la machine à vapeur (1) elle ne pesait que 53 kg. par cheval (chaudière et combustible compris), pour une heure de marche.

L'expérience eut lieu le 24 septembre 1852 dans l'en-

(1) Frappé du poids et des dimensions des moteurs qu'on construisait alors, Giffard s'appliqua à les réduire : à cet effet, il diminua le volume du cylindre, augmenta la pression de vapeur et l'énergie de la combustion par le tirage forcé, décupla la vitesse du piston, allégea le volant et obtint ainsi une machine à grande vitesse, légère, peu encombrante, qui produisit une véritable révolution dans l'industrie. Elle valut à son auteur, une médaille de première classe à l'exposition de 1851, et en 1859 le prix de mécanique de la

ceinte de l'Hippodrome de l'Etoile, dont le directeur, Arnaud, heureux des immenses succès des ascensions d'alors dans son cirque (1) était fier de posséder Giffard avec son invention.

A 5 heures et quart, le signal du départ fut donné par l'aéronaute-inventeur en faisant retentir le sifflet strident de la vapeur, et celui-ci s'éleva majestueusement dans l'espace aux acclamations d'une foule enthousiaste (2).

Giffard écrivait à ce sujet quelques jours après: « Je

fondation Montyon, qui avait déjà récompensé les travaux de Poncelet, de Girard, de Triger, etc...

La prise du brevet de l'injecteur qui porta son nom, et qui, en collaboration avec Henri et Gustave Flaud, lui fit gagner plusieurs millions, eut lieu le 8 mai 1858. Le premier spécimen fut donné à l'Ecole d'Arts de Métiers d'Angers, car Henri Flaud y avait fait ses études.

(1) Plusieurs fois par semaine de 1850 à 1851, Poitevin s'élevait alternativement à cheval, en calèche, avec sa femme et son domestique, l'Hippodrome étant devenu l'endroit favori des aréonautes en vogue.

Lors de la première expérience de Giffard, Arnaud avait passé un traité avec le jeune ingénieur pour exécuter une dizaine d'ascensions avec le dirigeable. Mais une circonstance bizarre arrêta l'entreprise. Comme la saison était avancée et que l'on s'approchait de l'époque des longues soirées, la Compagnie du gaz craignit de ne pouvoir fournir le gaz nécessaire au gonflement, dans la série des ascensions projetées, et faute d'un peu de bon vouloir de la part de cette fameuse Compagnie, la campagne si bien commencée en resta là. (L. Figuier).

(2) Un seul homme éminent compris l'importance de la grande tentative dont il avait été témoin, c'était Emile de Girardin qui écrivait en tête du journal *La Presse* du 26 septembre :

« Hier, vendredi 24 septembre, un homme est parti imperturbablement assis sur le tender d'une machine à vapeur, élevée par un ballon ayant la forme d'une immense baleine, navire aérien pourvu d'un mât servant de quille et d'une voile tenant lieu de gouvernail: ce Fulton de la navigation aérienne se nomme Henry Giffard. »

« Il est parti seul de l'Hippodrome. C'était un beau et dramatique spectacle que celui de ce soldat de l'idée affrontant avec l'intrépidité que l'invention communique à l'inventeur, le péril, peut-être la mort, car à l'heure où j'écris j'ignore encore si la descente a pu s'opérer sans accident et comment elle a pu s'opérer... »

suis parti seul de l'Hippodrome. Le vent soufflait avec une assez grande violence. Je n'ai pas songé un seul instant à lutter directement contre le vent, la force de la machine ne me l'eût pas permis, cela était prévu d'avance et démontré par le calcul, mais j'ai opéré avec le plus grand succès diverses manœuvres de mouvement circulaire et de déviation latérale. L'action du gouvernail se faisait parfaitement sentir, et à peine avais je tiré légèrement une de ces deux cordes de manœuvre, que je voyais immédiatement l'horizon tournoyer autour de moi... Cependant la nuit approchait, je m'occupai de regagner la terre, ce que j'effectuai très heureusement dans la commune d'Elancourt, près Trappe (1) ».

Ce dirigeable était cependant loin d'être sans défauts. Il ne réalisait pas ni la permanence de forme, ni la dissymétrie nécessaire pour éviter les mouvements de tête à queue, ni la rigidité du système, ni la stabilité verticale; enfin son constructeur avait eu le tort de le gonfler au gaz d'éclairage au lieu d'hydrogène et de se servir d'une nacelle de forme ordinaire.

Néanmoins, à cause des défauts qui viennent d'être signalés, l'éminent ingénieur ne put atteindre à son premier essai, qu'une vitesse propre de 2 m. 50.

Deuxième dirigeable. — Trois ans après cette première tentative, Giffard qui avait constamment en tête l'idée du triomphe de la navigation aérienne, faisait construire, en collaboration avec Gabriel Yon, son deuxième dirigeable, de dimensions beaucoup plus grandes que le premier, qui cubait 3.200 mètres, avait une longeur de 70 mètres et un diamètre maximum de 10 mètres.

L'allongement était donc de 7 d.

Sa machine à vapeur avait été modifiée et donnait plus de force, la quille fut remplacée par une traverse en bois

(1) Département de Seine-et-Oise.

placée suivant le méridien supérieur dont elle épousait la forme (ce qui ne semble pas constituer un perfectionnement sur la disposition primitive), enfin le gouvernail avait subi une heureuse modification (fig. 64).

Toutefois, Giffard ne vit pas que l'allongement trop considérable qu'il avait adopté exigeait des précautions toutes spéciales.

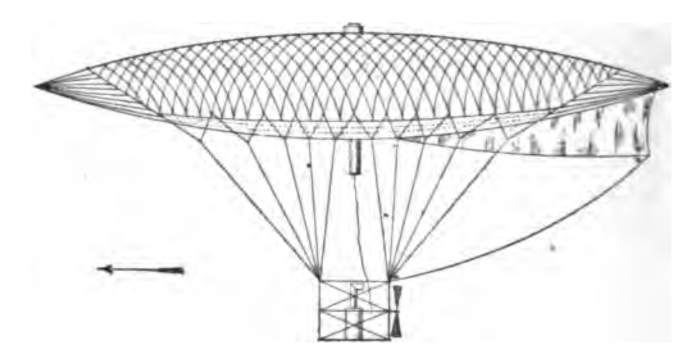


Fig. 64. — Deuxième dirigeable de Giffard (1855).

L'expérience faite après le départ de l'usine à gaz de Courcelles, en 1855, en compagnie de M. Gabriel Yon, par un vent de 4 mètres, donna de moins bons résultats que la première ; elle faillit même se terminer en catastrophe. Par suite de l'allongement et de la mauvaise disposition du propulseur dont l'effort s'exerçait sur la nacelle, l'avant du ballon se redressa, tandis que le filet de suspension glissait sur l'arrière... Les deux expérimentateurs n'eurent que le temps d'ouvrir en grand la soupape et de regagner la terre ; mais à l'atterrissage, le ballon se redressa, s'échappa du filet, et après une nouvelle ascension, retomba coupé en deux morceaux. Ce que le choc avait produit à terre pouvait se produire par une variation brusque dans la vitesse du vent, et que se serait-il passé à plusieurs centaines de mètres?

Comme son premier dirigeable, le second ne réalisait

pas les conditions primordiales indispensables ; de plus, étant donnée la faible puissance du moteur, il eût été nécessaire de chercher à obtenir la stabilité verticale, surtout avec le second ballon. Un seul de ces défauts aurait empêché le succès. Comme défauts accessoires, on peut citer les suivants : le capitonnage du filet diminuait singulièrement les avantages de l'allongement au point de vue de la résistance ; la dépense d'eau et de combustible produisait un délestage continuel que ne compensaient pas les pertes inévitables de gaz ; enfin, l'emploi du gaz d'éclairage (avec son peu de force assensionnelle) n'était pas heureux et les difficultés du problème sont assez grandes pour qu'on n'hésite pas à gonfler à l'hydrogène.

Quoi qu'il en soit, Giffard, qui, très jeune, ne rêvait qu'à conduire des locomotives, aura du moins eu la gloire de conduire la première locomotive aérienne qui puisse se revendiquer des ballons dirigeables. Il avait conçu le projet grandiose d'un ballon gigantesque de 50 mille m³ ; le moteur devait avoir deux chaudières, l'une à gaz du ballon, l'autre à pétrole. La vapeur d'eau formée par la combustion aurait été receuillie à l'état liquide dans un condenseur à grande surface de manière à équilibrer les pertes d'eau de la chaudière. Tout était calculé, tout était prêt. Le million destiné à cette expérience était mis de côté dans une maison de banque, les plans étaient terminés, quand l'homme génial par excellence, frappé de cécité dut renoncer à ses travaux. Avant de se donner la mort (1), l'éminent ingénieur voulut encore servir la science en la faisant profiter de la grande fortune que lui avait donnée toute une vie de labeur ; il laissa 50 mille francs à l'Académie des sciences, autant à la Société d'Encouragement, à la Société des Ingénieurs

(1) On raconte à ce sujet qu'un jeune homme distingué, très épris et très enthousiaste d'aéronautique, mais dont l'esprit s'était dérangé, voulait absolument construire sous les ordres de Giffard, le fameux

Civils, à la Société des Amis des Sciences et 100 mille francs au personnel de la maison Flaud où il avait tant travaillé !

Sa famille et l'Etat eurent le reste : mais Giffard émit le vœu que ces capitaux soient consacrés à des œuvres scientifiques d'une certaine valeur.

Tentative de Delamarne

En suivant l'ordre chronologique que nous avons adopté pour rendre plus claire l'étude des différents projets ou essais de navigation aérienne, nous rencontrons par ordre de date, les projets de Camille Vert, Carmien (de Luze), Vaussin-Chardanne, dont le dernier seul mérite l'attention. Puis nous arrivons aux expériences faites en 1866 par Delamarne.

Delamarne avait fait construire un ballon en forme de cylindre termine par un taille-vent qui devait lui permettre de résister, pendant la marche, à la pression de l'air. De chaque côté de ce cylindre se trouvait une hélice à trois palettes qui recevait son mouvement à l'aide d'une transmission et d'un volant mû par l'aéronaute placé dans la nacelle.

La première expérience eut lieu au jardin du Luxem-

dirigeable dont ce dernier annonçait la construction prochaine. Giffard ayant refusé le jeune collaborateur, celui-ci pénétra par ruse dans l'appartement de l'inventeur, 14, rue Marignan, et y laissa une caisse en forme de cercueil contenant ses manuscrits et l'ensemble de ses projets, ainsi qu'une lettre demandant une réponse. Huit jours après le jeune homme se brûlait la cervelle.

Giffard avait été très affecté de ce dénouement, et dans ses rêves il se voyait poursuivi de toutes parts. Le désir du suicide s'empara de son esprit et un certain nombre de personnes qui le connaissaient ne furent pas absolument étonnées d'apprendre sa mort.

D'après M. Wilfrid de Fonvieille, le jeune homme dont il est question plus haut ne serait autre que Penaud, fils de l'Amiral, dont les expériences sur l'aviation et en particulier sur le vol sont très curieuses.

bourg. L'inventeur avait annoncé qu'il se dirigerait en l'air, quel que fût la force du vent. Mais en dépit de ses promesses, le ballon s'éleva lentement, fortement incliné et malgré toutes les manœuvres, il suivit le premier courant aérien qu'il rencontra.

Une autre expérience fut renouvelée au Champ-de-Mars, en présence de l'Empereur Napoléon III, mais l'issue en fut de tous points déplorable.

Dans les manœuvres du départ, une des branches de l'hélice accrocha l'étoffe du ballon et lui fit une déchirure irrémédiable.

Delamarne voulut se rendre utile pendant le siège de Paris, on lui confia un ballon-poste pour la province. Mais la malchance le poursuivant, le malheureux inventeur-aéronaute alla tomber à Wetzlar en Prusse, avec ses dépêches et ses pigeons!

Dirigeable de Dupuy-de-Lôme

Les expériences de Giffard, ses travaux, qui cependant avaient donné quelque impulsion à la navigation aérienne, ne changèrent pas l'opinion du public qui continua, sauf quelques rares exceptions, à considérer la direction des ballons comme une utopie.

Quinze années après le dernier essai de l'inventeur de l'injecteur, un homme considérable, un savant ingénieur, Dupuy-de-Lôme (1), directeur du matériel de la marine, affirma en pleine Académie des Sciences, le 10 octo-

(1) Charles-Henri Laurent Dupuy-de-Lôme (1816-1885) né à Ploemeur près Lorient, fit faire d'immenses progrès à la navigation maritime ; les plans et mémoires pour la construction de son premier vaisseau à hélice, à grande vitesse furent adressés au ministre de la marine en 1847, et les premiers résultats — brillants d'ailleurs — eurent lieu sur le *Napoleon* en 1852. Dupuy-de-Lôme faisait partie de la promotion 1835-1837 de l'Ecole Polytechnique.

bre 1870, qu'il se chargeait de construire un ballon dirigeable, et de rétablir, par-dessus le cercle de fer qui étreignait Paris, la réciprocité des relations entre la France et sa capitale.

Nous étions en effet en pleine guerre, et les masses prussiennes continuaient à envahir la France.

Fallait-il douter de l'ingénieur qui avait construit le premier cuirassé et passait à bon droit pour une des illustrations du siècle ?

On vota immédiatement un crédit de 40 mille francs à sa disposition ; mais la désorganisation de l'industrie, les rigueurs de l'hiver, le manque de ressources rendirent la construction très lente et le dirigeable ne fut prêt que quelques jours avant la capitulation.

Dupuy-de-Lôme s'exprimait ainsi dans son mémoire lu à l'Institut le 17 octobre 1870.

« La nécessité de maintenir la direction des aérostats sensiblement en ligne droite et de faire qu'elle ne se modifie qu'à la volonté de l'aérostat agissant sur le gouvernail, exige que l'ensemble de l'appareil présente d'une façon très caractérisée un axe horizontal de moindre résistance, ainsi qu'une surface de résistance latérale placée à l'arrière du centre de gravité. Ce n'est donc pas seulement pour la convenance de réduire la résistance de l'aérostat à la marche horizontale qu'il faut renoncer à la forme du ballon ordinaire, dont la surface est engendrée par la révolution d'un méridien autour d'un axe vertical.

« J'ai donc adopté une forme allongée, suffisamment caractérisée, malgré les difficultés qui en résultent pour le maintien de l'aérostat horizontalement.

« Cette forme est celle d'une surface de révolution engendrée par une courbe spéciale, se rapprochant d'un arc de cercle de 7 mètres de flèche et tournant autour de sa corde de 42 mètres de longueur. Cette corde constitue l'axe horizontal du ballon dont la longueur est

réduite à 40 mètres en substituant, pour la solidité de construction, une petite surface sphérique à la pointe des extrémités.

« Le volume est ainsi de 3.860 mc., et la maîtresse section verticale est de 154 m².

« Pour s'opposer à la déformation sous la traction des suspentes (indépendamment de l'effet de la pression intérieure de gaz) la nacelle est d'une forme allongée et d'une construction rigide. Elle présente, en outre, à son avant ainsi qu'à son arrière, deux appendices également rigides faisant fonctions de brancards de nacelle.

« Les suspentes, en corde de soie, descendent du filet deux par deux des plans perpendiculaires à l'axe longitudinal du ballon, et sont fixées tant sur la nacelle que sur les brancards. Ces suspentes, sont croisées par quelques étais obliques, destinés à s'opposer seulement à un mouvement de balan de l'avant à l'arrière.

« Pour maintenir le ballon sans cesse gonflé dans les conditions indiquées ci-dessus, en présence des déperditions de gaz sur lesquelles il faut compter, ou lorsque l'aérostat en fera échapper volontairement pour opérer une descente partielle ou totale ; il sera introduit de l'air atmosphérique dans un petit ballon logé à cet effet dans l'intérieur du grand, et remplaçant ainsi une fonction, ayant quelque analogie avec la vessie natatoire des poissons.

« Si le petit ballon étant rempli, le dégonflement du gaz continuait, il serait alors introduit un supplément d'air atmosphérique dans le gaz du grand ballon. Il est entendu que si l'on ne considérait que la simplicité, on se bornerait à ce dernier procédé.

« On éviterait ainsi le poids de l'étoffe nécessaire à la confection de cette poche. C'est environ 50 kg. qui pourraient être ajoutés au lest, mais la poche de dilatation, malgré la réduction qu'elle occasionne sur le lest, procure la faculté d'opérer un plus grand nombre de montées et de descentes alternatives.

« En effet, elle permet de faire ces montées et ces descentes sans perdre de gaz ; d'où il suit que la presque totalité du lest n'aurait à faire face qu'aux déperditions à travers l'enveloppe.

« J'arrive à l'évaluation du travail nécessaire pour imprimer la vitesse de 8 km. à l'heure, par rapport à l'air ambiant, à l'aérostat conformé comme je l'ai dit ci-dessus.

« Par suite de ces données, on a :

« Section de la maîtresse partie du ballon porteur.	154 m²
« Section de la maîtresse partie de la nacelle et de la partie du corps des hommes dépassant cette nacelle (environ) . . .	4 m²
« Filets et suspentes en corde de soie	10 m²

« Il importe d'évaluer séparément la résistance qu'opposerait à la marche à travers l'air, ces diverses parties de l'aérostat.

« Si c'était des plans minces se présentant perpendiculairement au courant d'air, il résulte des recherches faites à ce sujet, par divers expérimentateurs que la pression exercée par ce courant à la vitesse de 8 km. à l'heure (ou de 2 m. 222 par seconde) serait de 0 k. 665 par m².

« Mais on sait que la pression du courant d'air, comme celle d'un courant d'eau, diminue dans une très grande proportion quand ces courants n'ont qu'à contourner des solides façonnés pour faciliter le mouvement du gaz ou du liquide, autour d'eux.

« L'étude des navires a fourni à cet égard, des données nombreuses qui manquent encore pour l'air. Toutefois, les données relatives au mouvement des masses aqueuses autour d'un corps plongé dans leur milieu, peuvent fournir un moyen d'estimer au moins des

minima pour le coefficient de réduction entre la résistance des plans minces, soumis perpendiculairement à un courant d'air et celle de corps à maîtresse section égale en surface au plan mince, mais configurés de manière à faciliter la division de l'air à l'avant, et son remplacement à l'arrière.

« Parmi les navires comparables au ballon porteur qui nous occupe, au point de vue capital des angles d'incidence du courant, à l'avant et des rayons de courbure des sections longitudinales, et enfin des angles d'incidence de remplacement du fluide à l'arrière, on n'en saurait trouver directement ; la résistance apportée à la maîtresse section ne résiste pas à moins de $\frac{1}{40}$ de la résistance du m² du plan mince frappant perpendiculairement la surface.

« Il est des navires où ce rapport descend à moins de $\frac{1}{80}$.

« Cela posé, ne serait-il pas légitime de compter que, le ballon porteur qui nous occupe présentement a également une résistance à la marche dans l'air réduite à $\frac{1}{40}$ de la résistance du plan mince, si ce ballon pouvait *conserver la forme régulière du dessin.*

« Mais cette dernière hypothèse n'est pas réalisable, il faut compter que le ballon sous la pression de son filet, présentera des surfaces plus ou moins bombées dans l'intervalle des mailles. Pour tenir compte de la forme partielle de la surface géométrique produisant une multitude de petites ondulations, j'estime qu'on leur fera une large part d'influence, en doublant la résistance calculée.

« Pour la nacelle, les formes sont également étudiées de manière à faciliter son passage dans l'air autant que le permettra les exigences de sa fonction, mais elle n'aura pas une surface polie, les rayons de courbure sont

petits, elle porte des hommes et des objets sans forme définie et il est par suite prudent de porter le coefficient de réduction de la résistance de cet ensemble au $\frac{1}{5}$.

« Enfin, pour les cordonnets du filet, ou les cordes de suspente, leur diamètre, et par suite leur rayon de courbure étant très petits, j'ai porté leur coefficient de réduction à la surface plane, à $\frac{1}{2}$.

« Cela posé, la résistance de l'aérostat à la marche, se compose ainsi qu'il suit :

« Ballon sans filet ; 15 m^2 à 0,665 = 102 k. 412 à $\frac{1}{20}$ on a	5 k.	120
« Nacelle et accessoires, 4 m^2 à 0,665 = 2,66 à $\frac{1}{5}$ = ...	1	330
« Filets et suspentes 10 m^2 à 0,665 = 6,65 à $\frac{1}{2}$ = ...	3	350
Résistance totale. . . .	9	800

« Pour une vitesse de 2 m. 22 par seconde, le travail final accompli par l'aérostat est donc :

$$9,80 \times 2 \text{ m. } 22 = 2 \text{ kgm. } 77$$

« Je me propose d'employer comme propulseur, pour obtenir la poussée et la vitesse calculées ci-dessus, une hélice qui exigera un travail moteur d'environ 30 kgm. à cause des frottements et des résistances.

« En présence de cette hélice, comme force motrice, il m'a paru avantageux d'employer simplement la force des hommes. Quatre hommes peuvent sans fatigue soutenir pendant une heure, en agissant sur une manivelle, un travail de 30 kgm qui n'exige de chacun d'eux que 7 kgm. Avec une relève de deux hommes, chacun d'eux pourra travailler une heure, se reposer une demi-heure et ainsi de suite, pendant les 10 heures du voyage qui sont une des données de cette étude ».

Passons à la description du dirigeable exécuté d'après cette étude et nous analyserons plus loin les résultats obtenus.

Les dimensions suivantes avaient été adoptées : Longueur totale 36 m. 12, diamètre au milieu 14 m. 84 ; section en ce point 172 m^2, et volume 3.454 mètres cubes.

Le ballon devait être gonflé à l'hydrogène.

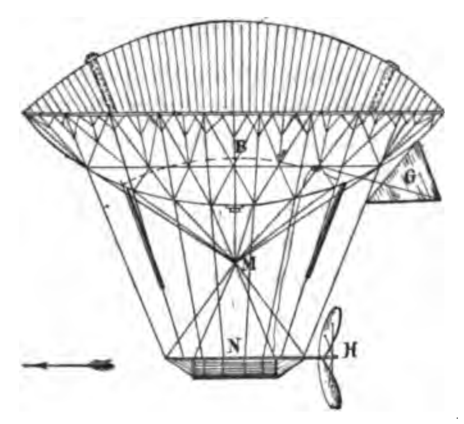


Fig. 65. — Dirigeable de Dupuy de Lôme.

Deux tuyaux penditifs descendant à 8 mètres en dessous du ballon, permettaient, librement ouverts, au gaz de s'échapper à mesure de sa dilatation, tout en gardant un excès de pression intérieure, qui prévenait toute déformation sous l'action du vent.

Pour obtenir la permanence de formes en dépit des causes de déperdition de gaz et des diminutions de pression dans les descentes partielles ou totales, l'auteur a recours au jeu d'un ballonnet interne dont le cercle figuré en B (fig. 65), montre le contour, dans lequel on peut, à volonté envoyer de l'air à l'aide d'un ventilateur et d'un tuyau. Une soupape est réglée de telle façon que l'air insufflé mal à propos doit s'échapper plutôt que de

refouler l'hydrogène au delà du bas des penditifs, au cas où le ballon aurait à remonter après une descente partielle, le gaz, plutôt que de se dégager par les penditifs en se dilatant, chasserait l'air du ballonnet par cette soupape.

En volume, le ballonnet est le $\frac{1}{10}$ du ballon ; son jeu permet d'atterrir avec le ballon toujours gonflé, en partant d'une hauteur où la pression barométrique ne serait que les $\frac{9}{10}$ de 760, soit d'une hauteur de 866 mètres.

Le propulseur est une hélice de 9 mètres de diamètre à deux ailes formée par des lattes de bois supportant l'étoffe, et portée sur un mât qui permet de la relever lorsqu'on atterrit.

Appelons R la résistance de l'air pour une vitesse v, de l'aérostat, d, p, n, le diamètre de l'hélice, son pas, son nombre de tours par minute, et α le recul.

En posant :

$$\frac{pn}{60} = (1 + \alpha)\, v,$$

le travail de l'hélice par seconde s'écrira :

$$R\frac{pn}{60} = (1 + \alpha)\, Rv \text{ (1)}.$$

Et le travail T à dépenser pendant le même temps dépassera cette dernière quantité de la valeur des frottements.

L'expérience de l'éminent ingénieur a triomphé ici de grandes incertitudes d'appréciation. Pour la vitesse de 2 m. 22 par seconde, il avait estimé celle du ballon seul à 6 k. et celle de l'appareil entier à 11 k. Ayant adopté les valeurs $d = 9$ mètres et $p = 8$ mètres, la théorie de l'hélice conduit à supposer $\alpha = 0,26$. Il obtient ainsi pour n et t des valeurs qui justifient l'emploi de

(1) Formules de Dupuy de Lôme.

quelques hommes actionnant directement l'arbre de l'hélice : quatre hommes pour une vitesse de 2 m. 22, et le double pour une vitesse plus grande, vitesse de $2{,}22 \times \sqrt[3]{2} = 2$ m. 80 environ.

La solidarité entre le ballon et la nacelle, qui reçoit la poussée de l'hélice, est à obtenir impérieusement. Un ballon de forme oblongue, surtout s'il vient à se dégonfler, a tendance à cabaner, c'est-à-dire à se dresser verticalement sur son grand axe (ce qui est arrivé au ballon de Giffard, de 1855). Là est donc un danger imminent à conjurer.

Dupuy de Lôme relie la nacelle au ballon par un système de deux filets supportés par le ballon, au moyen de rubans plats ; ou plutôt, indépendamment du filet porteur proprement dit, il a eu la lumineuse idée de disposer un deuxième filet qu'il appelle filet de balancines (1), dont les cordages se croisent à l'intérieur du premier, suivant les règles qu'il tire de la théorie des systèmes funiculaires.

Ce filet de balancines est l'un des traits dominants de la solution de M. Dupuy de Lôme : avec le ballonnet, il défie de la possibilité du danger dont nous avons parlé, et dont l'histoire de l'aérostation n'est pas sans exemple.

Une voile triangulaire de 15 m^2 placée sous le ballon. près de la pointe arrière, sert de gouvernail ; sa vergue inférieure est attachée à une corde qui se manœuvre de la nacelle. La discussion du parallélogramme des vitesses V du vent et v du ballon, fait connaître l'angle i de la route résultante sur la direction du vent, ainsi que la possibilité ou le moyen d'atteindre une direction donnée.

On reconnaît que le maximum i_1 de i répond au cas où l'on oriente le cap perpendiculairement à la route suivie sur le sol.

(1) Décrit précédemment en parlant de la stabilité.

Le gaz employé a été l'hydrogène provenant de l'action de l'acide sulfurique sur l'eau et la tournure de fer, puis séché et lavé.

L'expérience faite le 2 février 1872, au fort Neuf, à Vincennes, détermina une force ascensionnelle de 3.779 k. avec les poids suivants :

Ballon, avec ses accessoires, et instruments d'observation	1.776 k.
14 hommes de l'équipage, bagages et vivres	1.148
Colis à porter à destination. . . .	275
Lest disponible.	600
Ensemble total. . .	3.799 k.

Résumons donc les principales dimensions que nous avons puisées dans l'*Aéronaute* de mars 1872, et qui étaient les suivantes :

Longueur totale, 36 m. 120.

Diamètre maximum, 14 m. 84.

Volume du ballon, 3,454 m^3.

Volume du ballonnet, 345 m^3.

Surface du ballon porteur, 1.225 m^2.

Surface de la section maîtresse, 170 m^2.

Distance de la nacelle au centre bas du grand axe longitudinal, 20 m. 50.

Longueur totale de la nacelle, 12 m. 60.

Diamètre de l'hélice, 9 m.

Pas de l'hélice, 8 m.

Nombre de tours de l'hélice pour obtenir 8 kilomètres à l'heure (2 m. 22 par seconde), 21.

Temps pour remplir d'air le ballonnet, 15 minutes.

Poids total, y compris 14 hommes de l'équipage, 3.799 k.

Le ballon partit, abandonnant 150 k. de lest, poids nécessaire pour lui donner suffisamment de force ascensionnelle.

Etaient à bord : MM. Dupuy de Lôme, Zédé (1), ingénieur de la marine, Yon et Dartois, aéronautes-collaborateurs, Bouron, contremaître de la maison Claparède, de Saint-Denis, et enfin les huit hommes qui devaient manœuvrer le treuil et se relayer.

Un anémomètre donnait la vitesse propre de l'aérostat, dès que l'hélice entrait en mouvement.

Divers procédés, empruntés à la pratique des marins, ou imaginés pour les besoins de la navigation aérienne, boussole, baromètre anéroïde, permettaient de rapporter la route sur une carte.

Voici les éléments mesurés entre 560 et 910 mètres de hauteur, huit hommes agissant sur les manivelles motrices de l'hélice et développant un travail qu'on ne saurait estimer à plus de 60 k. par seconde, soit 60 kilogrammètres.

Angle sur la direction qu'imprimerait seule l'action du vent		Vitesse par seconde		Nombre de tours de l'hélice
de l'orientation donnée au cap	de la route résultante à suivre	propre à l'aérostat	Résultante	
97°	12°	2m35	12	25
85	10	2.45	16	26
84	11	2 82	17	27.5

OBSERVATIONS. — Vent fort, d'une intensité croissante, vitesse avec l'hélice entre 12 et 17 mètres.

En lâchant 300 k. de lest, on s'est élevé jusqu'à 1.020 mètres.

M. Zédé traça sur la carte d'état-major le point de

(1) Ecole Polytechnique, promotion 1843, devint plus tard directeur des constructions navales.

départ, pendant que Dupuy de Lôme lui dictait les vitesses et les directions qu'il relevait.

Ce dernier écrivait quelque temps après : « Au moment d'atterrir, je demandai à M. Zédé le village au-dessus duquel nous allions passer. Il me répondit : — ce doit être Mondécourt, sur les confins des départements de l'Oise et de l'Aisne. — Intentionnellement, on descendit de 1.020 mètres à 600 mètres, sans user encore du ballonnet, mais les plis de l'aérostat s'accentuèrent et il fallut descendre. Un instant après, des paysans auxquels nous adressions la question « Où sommes-nous ». A Mondécourt, répondirent-ils. La descente a été fort belle, sans choc, malgré le vent ».

C'était la première fois que des aéronautes avaient pu suivre un itinéraire à peu près fixé à l'avance et préciser leur route.

La plupart des publicistes et le savant ingénieur conclurent que ce dirigeable, très bien étudié au point de vue de la stabilité, présentait le défaut capital d'avoir une force motrice absolument insuffisante. « Si l'on parvenait, écrivait Dupuy de Lôme, à se mettre bien à l'abri des dangers que présente une machine à feu portée par un ballon à hydrogène, on ferait facilement une machine de 8 chevaux avec le poids des sept hommes dont on pourrait diminuer le chiffre de l'équipage. Le travail moteur serait ainsi de 600 kgm., c'est-à-dire dix fois plus grand..... Le combustible et l'eau d'alimentation pourraient être prélevés sur le lest de consommation. On obtiendrait ainsi un appareil capable, non seulement de se dévier d'un angle considérable par des vents ordinaires, mais pouvant même assez souvent faire route par rapport à la terre dans toutes les directions qu'il faudra suivre ».

. . . .

Malgré un vent de 12 mètres et quelques minimes accidents de route, on put obtenir une déviation de 12°,

l'anémomètre, immobile tant que l'hélice était stoppée, tournait dès qu'on la mettait en mouvement. La stabilité fut parfaite ; suivant le rapport de Dupuy de Lôme « la nacelle n'éprouvait *aucune oscillation* sous l'action de huit hommes travaillant au treuil de l'hélice, et l'on pouvait se porter facilement plusieurs personnes à la fois à gauche et à droite ou de l'avant à l'arrière, sans qu'on s'aperçût d'aucun mouvement, pas plus que sur le parquet d'un salon. Evidemment, le centre de gravité se déplaçant, il y avait un petit changement de degré dans la verticale de tout le système, ballon et nacelle ; mais il était impossible d'apercevoir un mouvement relatif de la nacelle par rapport au ballon, ni rien d'analogue aux oscillations d'une embarcation flottante dont l'équipage se déplace ».

Ce que l'on peut reprocher à Dupuy de Lôme, c'est le faible allongement de son ballon ; tandis que Giffard n'avait pas craint de donner au ballon de 1855 un allongement de 7, et cela sans précautions spéciales, le savant directeur de la marine, avec un ballon remarquablement rigide, se contenta de 2,5 ; un allongement double, complété par un moteur de 8 chevaux, aurait certainement donné de beaux résultats.

Bien que Dupuy de Lôme n'ait pu remonter le courant en raison de l'insuffisance de son moteur (ses huit hommes), ses travaux ont eu pour résultat suivant l'expression même de la Commission (1) de savants instituée pour assister à son expérience « de faire sortir la question du vague dans lequel elle avait été maintenue jusqu'alors et de servir de point de départ nécessaire à tout ce qu'on voudrait continuer dans ce sens ».

(1) Les membres de cette Commission étaient : MM. Balard, Ste-Claire Deville, Delaunay, Jamin, le baron Berkheins, Duménil et Bouin.

Dirigeable de Haenlein

Un ingénieur viennois, Paul Haenlein, secondé par un groupe de capitalistes et d'industriels viennois, fit construire un dirigeable, mû par un moteur à gaz (1), qui fut expérimenté en 1873.

Après une première ascension, dans laquelle on se contenta, paraît-il, d'exécuter des essais pendant lesquels l'aérostat était maintenu à terre par des soldats, le ballon, ne donnant aucun résultat appréciable, fut abandonné.

Dirigeable de M. Debayeux

En 1876 et 1878, on parla beaucoup du projet de M. Debayeux, ouvrier mécanicien. Une société financière, fondée en vue de patroner l'inventeur, s'était formée et la construction du dirigeable se fit à Villeneuve-Saint-Georges.

Un petit modèle fut d'abord expérimenté et fonctionna assez bien pour que l'idée fût appliquée en grand.

Le dirigeable de M. Debayeux, d'environ 3.000 m^3, avait la forme d'un cylindre terminé par une demi-sphère à chacune de ses extrémités (fig. 66). Un filet entourant cet énorme boudin soutenait deux montants en fer, en forme d'échelle, auxquels était suspendue la nacelle, de forme allongée et contenant un moteur à vapeur destiné à faire tourner une sorte de moulinet à quatre ailes placé à l'avant du ballon et dans son axe.

Le système de l'ouvrier mécanicien est basé sur la raréfaction de l'air dans l'air, et le moulinet peut produire une diminution de pression de $\frac{1}{5}$ d'atmosphère à

(1) Le moteur en question brûlait le gaz du ballon ; *a priori* le parcours était donc limité.

l'avant du ballon qui peut avancer avec une certaine vitesse.

« L'expérience, dit un partisan de ce système, prouve que le moulinet agit de trois manières à la fois : en produisant un vide partiel devant le ballon ; en aspirant l'air et en le projetant du centre à la circonférence, de sorte que l'aérostat est soustrait à la pression de l'air ; enfin, en formant par le rayonnement de l'air chassé, une sorte de chemise protectrice au ballon et capable de former une barrière puissante contre les vents obliques ».

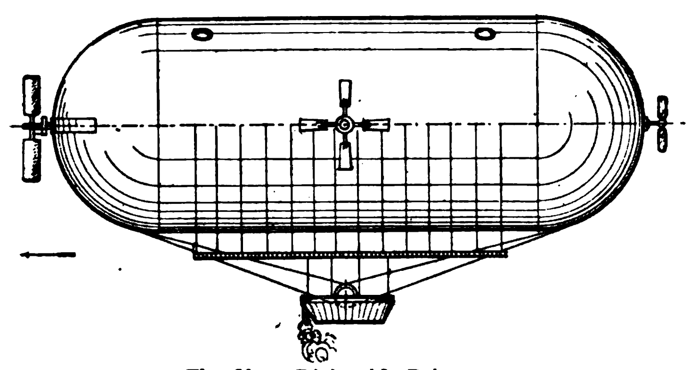


Fig. 66. — Dirigeable Debayeux.

« L'inventeur est loin d'avoir la prétention de voguer à grande vitesse dès les premières expériences. Il veut s'élever d'abord par un temps calme, étudier la force de ses engins et distinguer ce qui serait hardiesse de ce qui serait folie. Pour descendre, deux moulinés placés sous le ballon lui permettent de le faire sans perdre un atome de gaz et de se maintenir à une altitude régulière. Pour arrêter, un moulinet placé à l'arrière sert de frein. Pour gouverner, deux petits moulinets sont placés en X de chaque côté, le principe de la raréfaction étant appliqué à toutes les manœuvres. Enfin, tous ces moulins sont mis en mouvement par le même moteur, indépendam-

ment les uns des autres et à l'aide de câbles de transmission spéciaux ».

Le dirigeable Debayeux fut construit avec de grandes dimensions, avec tous ses moulinets et sa machine à vapeur dans un hangar qui avait déjà coûté 30.000 fr.

Il était tout en baudruche double. On le gonfla d'hydrogène pur, mais à chaque fois le départ ne put s'opérer pour une raison ou pour une autre.

Finalement, la société financière qui patronnait le mécanicien fut mise en faillite et le matériel vendu sans qu'aucune expérience fût venue démontrer la valeur ou plutôt l'absurdité des moulinets formant propulseur.

D'ailleurs, ce dirigeable, avec sa forme cylindrique et le peu de force qu'il disposait, n'aurait apporté aucun résultat au grand problème de la direction.

Dirigeable de Wœlfert

Un allemand, docteur en théologie, Wœlfert, en collaboration avec un ancien garde des forêts du royaume de Saxe, eut l'idée de construire un dirigeable à propulsion électrique. Son moteur électrique assez léger, paraît-il, donnait 4 chevaux et pesait 40 k.

Ce dirigeable présentait le caractère particulier d'être sans force ascensionnelle au départ, étant muni de deux hélices, l'une destinée à lui assurer un mouvement ascensionnel, l'autre un mouvement de propulsion.

Le ballon, de forme ellipsoïdale, fut essayé en février et mars 1882, à Charlottenbourg, près de Berlin.

Les expériences n'eurent aucun succès et ne donnèrent aucun résultat appréciable : le Dr Wœlfert fit une petite ascension, mais n'osant pas rester longtemps dans la nacelle, il céda sa place à son collaborateur Baumgarten.

Pendant que celui-ci renouvelait un essai, le ballon se creva, il tomba sur un toit voisin et l'aéronaute eut la

chance extraordinaire de ne se faire que de très légères blessures.

Son collaborateur mourut quelques années après, et le Dr Wœlfert, dont la foi n'avait pas diminué, continua ses expériences : nous le retrouvons plus tard, en 1897, faisant des expériences avec un dirigeable muni d'un moteur Daimler à essence.

Ces expériences eurent lieu sans plus de succès que les premières, à Tempelhof, près de Berlin.

Dirigeable des frères Tissandier

Elèves de Giffard, héritiers de la foi et de l'énergie du maître, les deux frères Gaston (1) et Albert Tissandier dont le nom est connu de tous, et dont la science aérostatique peut être fière, résolurent d'entreprendre des essais de direction, avec une machine dont on attendait toutes sortes de merveilles : le moteur électrique.

Il est bien évident que la dynamo, qui fonctionne sans feu et sans variations de poids a de grands avantages au point de vue aérostatique.

Les allemands Baumgarten et Wœlfert avaient bien essayé, un an auparavant, l'application du moteur électrique à un dirigeable, mais n'avaient obtenu aucun résultat appréciable.

Les études des frères Tissandier remontent à 1880 et 1881.

(1) Gaston Tissandier (1843-1899) après avoir fait de bonnes études au Lycée Bonaparte, devint plus tard directeur du Laboratoire de l'Union nationale. Il fonda en 1873, en collaboration avec M. Albert Tissandier, son frère, et M. Masson éditeur, le journal hebdomadaire *La Nature* qui prit si rapidement une grande extension. La science aérostatique qui a eu la gloire de posséder ces deux frères, leur est redevable de bien des perfectionnements : leurs ascensions ne se comptent plus, et nous n'avons pas besoin de rappeler les services rendus à la France pendant la guerre de 1870 et pendant le siège de sa capitale.

Pour s'assurer la priorité de son idée, l'aîné, Gaston, prit en 1881 un brevet sous le titre : *Application de l'électricité à la navigation aérienne*. Il expose dans ce brevet, que son projet est de reprendre les expériences de direction aérienne de son illustre maître Henry Giffard, mais à l'aide de certaines dispositions nouvelles et au moyen d'un moteur électrique.

Dans une note présentée à l'Académie des sciences au sujet d'expériences préliminaires exécutées en petit, l'auteur expose en même temps les avantages incomparables offerts par les moteurs électriques.

Nous les connaissons bien : le moteur électrique fonctionne sans foyer, et supprime ainsi le danger de feu sous une masse de gaz ; il offre un poids constant et n'abandonne pas à l'air des produits de combustion qui délestent sans cesse l'aérostat et tendent à le faire monter dans l'atmosphère ; de plus le moteur électrique se met en marche avec une extrême facilité, par le simple contact d'un commutateur.

Afin de se rendre compte des résultats que l'on pouvait obtenir, G. Tissandier fit construire un petit aérostat allongé, terminé par deux pointes, ayant 3 m. 50 de longueur et 1 m. 30 de diamètre au milieu.

Gonflé à l'hydrogène, et cubant 2.200 litres, ce petit dirigeable était muni d'un petit moteur électrique genre Siemens, construit par G. Trouvé, qui actionnait par l'intermédiaire d'une transmission, une hélice très légère à deux branches, de 0,40 de diamètre.

Avec trois éléments Planté, la vitesse pouvait atteindre 3 mètres par seconde.

Les expériences furent faites au Conservatoire des Arts et Métiers et aux ateliers de M. Lachambre à Vaugirard ; et il fut facile de mesurer le travail fourni par le petit moteur en employant la méthode simple qui consiste à faire soulever directement des poids au moteur.

M. Hospitalier (1), dont il n'est pas besoin de faire l'éloge comme électricien, prit part à ces essais.

Pendant toute la durée de l'exposition d'électricité qui eut lieu du 1er août au 1er décembre 1881, un petit aérostat (2) semblable à celui décrit, fonctionna au Palais de l'Industrie ; lors de la séance d'ouverture, le

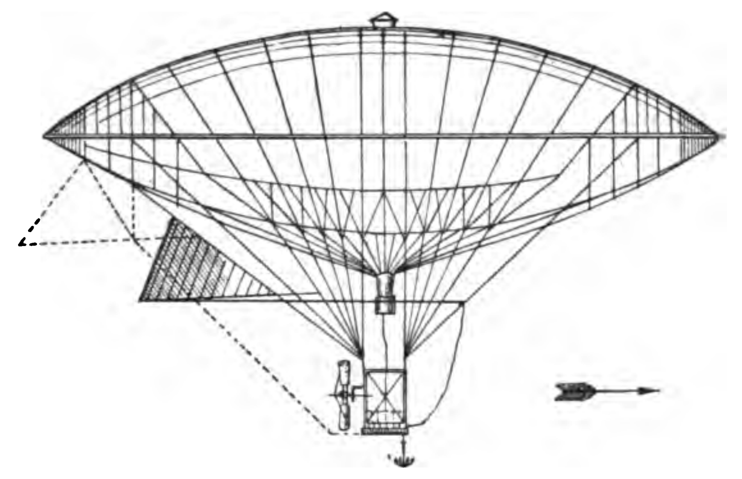


Fig. 67. — Dirigeable des frères Tissandier.
Le tracé en pointillé représente la modification apportée au gouvernail (2e ascension).

11 août, le petit aérostat dirigeable, guidé par un fil métallique, put traverser la grande nef de ce Palais construit pour l'Exposition de 1855.

(1) Notre camarade, M. E. Hospitalier a toujours pris part aux manifestations scientifiques de ce genre, et actuellement il est toujours prêt un des premiers : les questions de locomotion aérienne et automobile lui sont chères.

(2) La première note sur l'application des moteurs électriques à la direction des aérostats a été lue par l'auteur à l'Académie des sciences dans la séance du 1er août 1881. L'illustre et regretté secrétaire perpétuel J.-B. Dumas, avait vivement encouragé l'inventeur et voulut voir fonctionner le petit moteur de l'aérostat minuscule pendant la séance.

Guidés par ces premières expériences, les deux frères firent d'abord construire un moteur électrique très léger, de 1 ch. 1/2, et étudièrent un générateur d'électricité.

Ils installèrent ensuite un atelier aérostatique dans un terrain de 1.100 mètres, situé avenue de Versailles, dans le voisinage du Point-du-Jour, et s'occupèrent de la construction de leur premier dirigeable. M. Albert s'occupa du ballon proprement dit qui fut exécuté d'après ses plans aux ateliers de M. H. Lachambre, pendant que Gaston étudiait le moteur, les piles et l'appareil à l'hydrogène.

Un petit modèle de 15 mètres cubes fut d'abord exécuté et ce n'est qu'après en avoir étudié le fonctionnement à l'état captif que la construction du grand fut commencée (1).

Le ballon, représenté par la fig. 67 était un fusean symétrique de 28 mètres de longueur et de 9 m. 20 de diamètre au milieu, ce qui correspond à un allongement de 3. Il cubait 1.060 mètres, et à sa partie inférieure il était muni d'un cône d'appendice terminé par une soupape automatique.

La housse de suspension qui le recouvrait était terminée par deux brancards latéraux flexibles qui épousaient complètement la forme, de pointe à pointe, en passant par l'équateur. Les cordes de suspension partant de ces brancards étaient reliées par une couronne en cordages ayant pour but de répartir également la traction ; ce dispositif ne donne certainement pas une répartition absolue mais il offre une certaine efficacité. La nacelle avait la forme d'une cage, elle avait été construite à l'aide de bambous assemblés, consolidés par des cor-

(1) Dans ce qui va suivre, de nombreux emprunts ont été faits dans le volume *Histoire de mes ascensions*, de G. Tissandier. Edition de Maurice Dreyfons (1887).

des et des fils de cuivre recouverts de gutta-percha. La partie inférieure de cette nacelle, formée de traverses en bois, servait de support à un fond en osier ; les cordes de suspension enveloppant entièrement la nacelle, tressées dans la vannerie inférieure avaient été préalablement entourées d'une gaine de caoutchouc afin de les préserver du contact du liquide acide destiné à alimenter les piles.

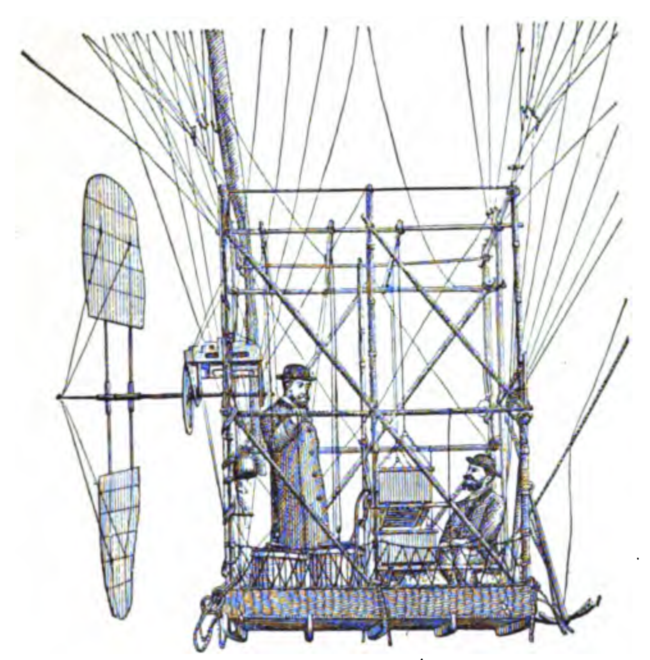


Fig. 68. — Nacelle du dirigeable (cliché Tissandier).

Le gouvernail, formé d'une grande surface de soie non vernie, était maintenu à l'arrière par un boulon.

L'ensemble destiné à la propulsion ; moteur, piles et hélice, était composé ainsi qu'il suit :

1° D'un propulseur à deux palettes hélicoïdes, construit d'après les plans de M. V. Tatin, qui a construit le

dirigeable *La Ville de Paris* dont nous parlerons plus loin ;

2° D'une dynamo électrique Siémens, nouveau type, réduit à son minimum de poids ;

3° D'une batterie de piles légères au bichromate de potasse.

L'hélice, formée d'un moyeu métallique creux, et de deux longues tiges de sapin reliées par des lattes et recouvertes de soie vernie à la gomme laque. Cette hélice, confectionnée avec beaucoup de soin, ne pesait que 7 kg. et avait 2 m. 85 de diamètre.

La dynamo, construite par la maison Siemens de Paris, dont le directeur d'alors était M. Boistel, ne pesait que 55 k. et pouvait fournir 100 kilogrammètres, soit 1 ch. 33 (1).

La batterie était formée de quatre auges d'ébonite à 6 compartiments de 24 couples zinc et charbon. Quatre seaux d'ébonite très légers contenaient la solution acide de bichromate de potasse (30 l. chacun), alimentaient les batteries.

Les éléments étaient montés en tension, et leur ensemble pesait 225 k. ; ils pouvaient, avec la solution de bichromate, fonctionner pendant deux heures et demie.

La dissolution de bichromate, très concentrée et très acide, était versée dans les seaux à une température de 35 à 40 degrés.

Le ballon était gonflé à l'hydrogène. Pour obtenir ce gaz dans des conditions pratiques et à un prix de revient peu élevé, les deux frères Tissandier avaient eu recours au procédé analogue à celui de Giffard, lors de l'installation du grand captif de l'Exposition de 1878, dans la cour des Tuileries.

L'hydrogène, dans cet appareil, comme dans celui de

(1) Cette machine avait été essayée dans les ateliers de « Force et Lumière », avec l'aimable concours de MM. Hospitalier et Raffard.

Giffard, se produit par la décomposition de l'eau par l'acide sulfurique, en présence du fer ; mais au lieu d'employer un générateur unique de grand volume, les illustres aéronautes avaient fait usage de tuyaux Doulton, en terre, analogues à ceux des conduites d'eau. Quatre générateurs semblables qui avaient été installés dans l'atelier aérostatique de l'avenue de Versailles, pouvaient produire un volume de 300 mc. d'hydrogène à l'heure.

Nous avons parlé précédemment de ce générateur dans la partie qui traite la préparation de l'hydrogène pour le gonflement des ballons.

La force ascensionnelle du premier dirigeable des deux frères était de 1.250 kilogrammes, sans compter 10 k. d'excès suffisant au départ. Voici d'ailleurs le poids des différentes parties qui le composaient :

Ballon, avec ses soupapes.	170 k.
Housses, gouvernails et cercles de suspension	70
Brancards latéraux flexibles	34
Nacelle	100
Moteur, hélice, piles avec le liquide pour les faire fonctionner pendant 2 h. 1/2	280
Engins d'arrêt (ancre et guide-rope). .	50
Deux voyageurs et instruments divers.	150
Lest	386
Total. . . .	1.250 k.

La force ascensionnelle du mètre cube d'hydrogène était de 1.180 grammes, elle était supérieure de 30 grammes à celui employé par Giffard.

Première ascension. — Enfin, le 8 octobre 1883, le ballon, gonflé prêt à faire sa première évolution, quittait à 3 h. 20 le parc aérostatique et s'élevait dans les airs par un vent faible.

A terre, le vent était presque nul, mais comme cela

arrive fréquemment, il augmente de vitesse avec l'altitude, car à 500 mètres, il atteignait 3 mètres à la seconde.

Quelques minutes après le départ, la batterie au bichromate fonctionnant avec 12 éléments en tension, la vitesse du ballon était insuffisante, mais au-dessus du bois de Boulogne, lorsque les 24 éléments furent couplés, le moteur augmentant de vitesse, la translation fut subitement appréciable et les aéronautes sentirent parfaitement le déplacement horizontal.

« Quand l'aérostat faisait face au vent, écrit G. Tissandier (1), alors que sa pointe avant était dirigée vers l'église d'Auteuil, voisine de notre point de départ, il tenait tête au courant aérien et restait immobile, ce que nous pouvons constater en prenant des points de repère au-dessus de notre nacelle.

« Malheureusement, il ne restait pas longtemps dans cette position favorable, et quand il avait bien fonctionné pendant quelques instants, il se trouvait soumis tout à coup, à des mouvements giratoires que le jeu du gouvernail était impuissant à maîtriser complètement.

« Malgré ces rotations que nous avons trouvé le moyen d'éviter dans une expérience ultérieure, nous avons recommencé la même manœuvre pendant plus de vingt minutes, ce qui nous a permis de stationner sensiblement au-dessus du bois de Boulogne.

« Quand nous avons essayé de nous déplacer, en coupant le vent dans une direction perpendiculaire à la marche du courant aérien, le gouvernail se gonflait comme une voile, et les rotations se produisaient avec beaucoup plus d'intensité. Nous estimons, d'après ces faits, que la position d'un navire aérien, par rapport à la ligne du vent, n'est pas indifférente si le gouvernail ne fonctionne pas bien.

(1) *Histoire de mes ascensions*, 1887.

« Après avoir procédé aux expériences que nous venons de décrire, nous avons arrêté le moteur, et l'aérostat a passé au-dessus du Mont Valérien. Une fois qu'il



Fig. 69. — Atterrissage près de Croissy-sur-Seine (*8 octobre 1883*) (*cliché Tissandier*).

eût bien pris l'allure du vent, nous avons recommencé à faire tourner l'hélice en marchant cette fois dans le sens

du courant aérien ; la vitesse de translation de l'aérostat était accélérée ; par l'action du gouvernail, nous obtenions facilement alors des déviations de gauche à droite de la ligne du vent. Nous avons constaté ce fait en prenant comme précédemment des points de repère sur le sol ; plusieurs observateurs l'ont d'ailleurs vérifié à la surface du sol.

« A 4 h. 35, nous avons opéré notre descente dans une grande plaine qui avoisine Croissy-sur-Seine ; les manœuvres de l'atterrissage ont été exécutées avec un plein succès. Nous avons laissé l'aérostat électrique gonflé toute la nuit et le lendemain il n'avait pas perdu la moindre quantité de gaz ; il était aussi bien gonflé que la veille. Peintres, photographes, ont pu prendre l'aspect de notre navire aérien au milieu d'une foule nombreuse et sympathique que la nouveauté du spectacle avait attiré de toutes parts.

« Nous aurions voulu recommencer le jour même une nouvelle ascension ; mais le froid de la nuit avait déterminé la cristallisation du bichromate de potasse dans nos réservoirs d'ébonite, et la pile, qui était loin d'être épuisée se trouvait cependant ainsi hors d'état de fonctionner. Nous avons fait conduire l'aérostat à l'état captif sur le rivage de la Seine, près du pont de Croissy, et là, à notre grand regret, nous avons dû procéder au dégonflement et perdre en quelques instants ce gaz que nous avions mis tant de soins à préparer. »

C'était le premier dirigeable à moteur électrique expérimenté en France.

A la suite de ce premier résultat, les frères Tissandier firent modifier quelques parties du matériel et refaire toutes les pièces du gouvernail dont l'efficacité n'était pas suffisante.

Deuxième ascension. — Un an après, le vendredi 26 septembre 1884 un deuxième essai eut lieu.

Le moteur donnait 1 ch. 5, et le gouvernail, de dimensions un peu plus grandes, était placé tout à fait à l'arrière, de telle sorte qu'il dépassait la poupe du ballon, la partie triangulaire voisine constituait une sorte de quille immobile qui se trouve représentée par la fig. 66, qui montre les changements effectués pour le second essai.

On pouvait déplacer la partie arrière du gouvernail à l'aide de deux drisses passant sur des poulies.

A 4 heures de l'après-midi, le ballon était gonflé, complètement arrimé et prêt à partir.

Les deux frères accompagnés d'un ancien marin, M. Lecomte, qui s'était occupé des cordages du ballon, partirent à 4 h. 20 au milieu des applaudissements et des clameurs d'une foule considérable réunie dans les environs (1).

Gaston Tissandier raconte ce second départ et s'exprime ainsi :

« Mon frère Albert s'était chargé du jeu de lest destiné à maintenir l'aérostat au même niveau, M. Lecomte tenant de chaque main les drosses du gouvernail faisait virer de bord suivant la direction que nous voulions prendre ; quant à moi, je m'occupais spécialement de faire fonctionner le moteur et de prendre le point. »

« A 400 mètres d'altitude, nous avons été entraîné par un vent assez vif du N.-O. et aussitôt l'hélice a été mise en mouvement, d'abord à petite vitesse ; quelques minutes après, tous les éléments de la pile, montés en tension, ont donné leur maximum de débit. Grâce aux dimensions plus volumineuses de nos lames de zinc, et à l'emploi d'une dissolution de bichromate de potasse plus chaude, plus acide et plus concentrée, il nous a été donné de disposer d'une force motrice de 1 cheval et

(1) MM. Gabriel Yon, Louis Godard jeune, Lachambre et de nombreux amis des aéronautes étaient présents au départ.

demi, avec une rotation de l'hélice de 190 tours par minute.

« L'aérostat a d'abord presque suivi complètement la ligne du vent, puis il a viré de bord sous l'action du gouvernail, en décrivant une demi-circonférence il a navigué vent debout. Nous sentions alors un air très vif qui soufflait avec assez de force et nous indiquait que nous luttions contre le courant. En prenant des points de repère sur la verticale, nous constations que nous approchions très lentement, mais sensiblement dans la direction d'Auteuil, ayant une complète stabilité de route. La vitesse du vent était environ 3 mètres à la seconde,et notre vitesse propre, un peu supérieure atteignait à peu près 4 mètres à la seconde. Nous avons ainsi remonté le vent au-dessus du quartier de Grenelle pendant plus de dix minutes, le trajet du voyage indiqué par la figure 69 montre ce mouvement d'évolution qui nous conduisit jusqu'au-dessus de l'église St-Lambert.

« Nous avions constaté avant notre ascension, par le lancement de petits ballons d'essais, et par l'observation des nuages, que les courants aériens supérieurs étaient trop rapides pour qu'il puisse nous être permis de revenir au point de départ ; il nous eût été d'ailleurs de toute impossibilité de descendre dans notre terrain très exigu, et tout entouré d'arbres élevés ou de constructions.

« Après notre première évolution, la route fut changée et l'avant du ballon, tenu vers l'Observatoire ; on nous vit recommencer dans le quartier du Luxembourg une manœuvre de louvoyage, tout à fait semblable à celle que nous avions exécutée précédemment, et l'aérostat, la pointe avant contre le vent, a encore navigué quelques minutes à courant contraire pour remonter ensuite dans la direction du Nord.

« Après avoir séjourné pendant 45 minutes au-dessus de Paris, l'hélice a été arrêtée à la hauteur du pont de Bercy, et l'aérostat laissé à lui-même, tout en étant main-

tenu à une altitude à peu près constante, a été aussitôt entrainé par un vent assez rapide. Il passa au Sud du bois de Vincennes. A partir de cette localité, il nous a

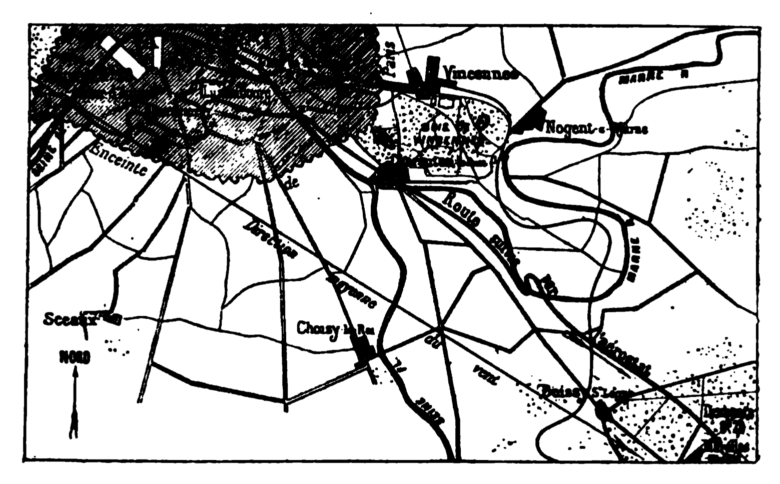


Fig. 70. — Tracé du voyage aérien de l'ascension du 26 septembre 1884.

été facile de mesurer encore une fois par le chemin parcouru au-dessus du sol, notre vitesse de translation, et d'obtenir ainsi très exactement celle du courant aérien lui-même. Cette vitesse n'était pas constante, elle variait de 3 mètres à 5 mètres par seconde et a changé fréquemment pendant le cours de notre expérience. Arrivés au-dessus de la Varenne-Saint-Maur à 5 h. 50, nous avions tout disposé pour la descente, devenue nécessaire par l'approche de la nuit. Le soleil se couchait au-dessus des brumes, quand nous remarquâmes que le vent diminuait sensiblement de vitesse. Mon frère me fit observer que puisque notre pile était loin d'être épuisée, nous pourrions profiter de cette accalmie pour recommencer de nouvelles évolutions, ne serait-ce que pendant quelques minutes. Aussitôt, je pris mes dispositions pour remettre la machine en mouvement ; nous vîmes alors l'aérostat obéir facilement à son action et remonter avec beaucoup

plus de facilité que précédemment, le courant aérien devenu momentanément presque nul. Si nous avions eu encore une heure devant nous, il ne nous eût pas été impossible de revenir vers Paris.

« La carte montre la rétrogradation de route exécutée au-dessus de la Marne que nous avions traversée successivement deux fois en sens contraire. Cette manœuvre, à notre grand regret, dut être arrêtée promptement, car il ne fallait pas songer à retarder plus longtemps la descente.

« L'atterrissage eut lieu près du bois de Servon, à Marolles-en-Brie, canton de Boissy-Saint-Léger (Seine-et-Oise), à une distance de 25 kilomètres du point de départ, après un séjour de deux heures consécutives dans l'atmosphère.

« Le vent de terre était assez vif : notre guide-rope fut incapable de nous arrêter. Il fallut jeter l'ancre qui ne mordit pas immédiatement et notre nacelle eut à subir l'action de deux légers chocs qui nous permirent d'éprouver la solidité du matériel. Il n'y eut absolument rien d'endommagé » (1).

Ainsi, à trois reprises, chaque fois, MM. Tissandier frères ont été vainqueurs des éléments ! C'était un beau résultat, si l'on songe aux difficultés rencontrées dans cette entreprise. Le projet primitif comportait un ballon beaucoup plus grand, cubant 3.000 mètres, et devait coûter près de 200.000 francs. MM. Tissandier firent

(1) L'auteur de ces lignes, Gaston Tissandier, fait remarquer que si les aérostats allongés ont une forme favorable à leur translation au sein de l'air, ils obéissent moins facilement à l'action du vent, à la descente, que ne le font les aérostats sphériques. Si le point d'attache des cordes d'arrêt, guide-rope et corde d'ancre est placé dans le voisinage d'une pointe de l'aérostat, le dirigeable fait en quelque sorte girouette sous l'action du vent, et offrant dans ce cas moins de surface qu'un ballon sphérique de même volume, il est arrêté avec beaucoup plus de facilité. Les ballons fusiformes bien construits, loin d'être dangereux, offrent toute sécurité au point de vue du voyage aérien proprement dit.

appel au public, aux sociétés savantes, mais reçurent 3.000 francs à peine ! (1). C'est bien là un signe des temps qui montre bien en quelle défaveur était la recherche de la direction des ballons.

Livrés à leurs seules ressources, ils durent réduire à 1.060 mètres cubes le volume du dirigeable ; Gaston Tissandier obvia en partie aux inconvénients d'un volume aussi réduit grâce à la préparation de son hydrogène très pur qui possédait, comme nous l'avons dit précédemment, une force ascensionnelle remarquable de 1 k. 180 par mètre cube.

La grande faute des frères Tissandier est de ne pas avoir profité des travaux de Dupuy de Lôme pour assurer la rigidité de la suspension et l'invariabilité des formes. Enfin, pas plus que leurs prédécesseurs, ils ne se préoccupèrent de maintenir le ballon dans un plan horizontal ; il est vrai qu'avec le moteur électrique ils n'avaient plus, comme Giffard, le délestage dû à la dépense d'eau et de combustible, mais cette cause d'instabilité n'est malheureusement pas la seule.

Pendant que leurs expériences se réalisaient, MM. les capitaines Renard et Krebs, de Chalais-Meudon, venaient de démontrer, d'autre part, que l'hélice pouvait être placée à l'avant et qu'il était possible de rapprocher considérablement la nacelle du ballon ; ils venaient d'obtenir, grâce à l'emploi de leur moteur électrique, puissant et léger, une vitesse propre qui n'avait jamais été atteinte avant eux, en même temps qu'ils étaient revenus au point de départ.

Quoi qu'il en soit, la science n'oubliera pas la grandeur de l'effort fait par les deux frères Tissandier et leur beau désintéressement.

(1) M. Albert Tissandier a bien voulu donner quelques détails à l'auteur de ce livre et lui a annoncé que son frère Gaston avait à peine touché cette somme et que leurs expériences leur avaient coûté environ 50.000 francs.

Patriotiques prometeurs du mouvement d'aérostation militaire pendant notre funeste guerre, ces deux hommes de cœur gagnaient un titre de plus à la reconnaissance de leur pays.

Expériences de Chalais-Meudon

L'établissement d'aérostation de Chalais, chargé par le Ministre de la guerre d'étudier les aréostats au point de vue de leur application à l'art militaire, a été fondé en 1874, mais ce n'est qu'à partir de 1878 que l'on s'occupa de leur direction (1).

Le Ministre de la guerre en confia la direction à un distingué officier de génie; le capitaine Charles Renard (2) auquel fut adjoint le capitaine d'infanterie Krebs (3) et plus tard le capitaine Paul Renard (4), frères du premier.

En 1880, le chef de cet établissement rédigea un premier projet, déposé à l'Académie, projet qui fut modifié en 1881, époque à laquelle eut lieu la première exposition d'électricité que tout le monde admira.

(1) Une première commission dite « des communications par voie aérienne » fut créée en 1874 pour étudier les ballons, la télégraphie optique, la poste aux pigeons, et l'éclairage électrique des travaux de l'ennemi. Cette commission était présidée par le colonel Laussedat, qui fut plus tard directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, C'est d'elle qu'est sorti l'établissement de Chalais, maintenant détaché de l'ancienne commission et rattaché à l'état-major général (Ct Renard).

Les ateliers aérostiques de Chalais sont assurément les mieux installés et les plus complets d'Europe : l'établissement actuel est le centre d'études d'aérostation militaire et constitue l'école d'enseignement en même temps que l'arsenal des constructeurs.

Le colonel C. Renard, directeur, son frère le commandant P. Renard et un groupe d'officiers savants et distingués se sont spécialisés dans cette question et forment un ensemble que nulle autre puissance ne peut mettre en ligne.

(2) Ecole Polytechnique, promotion 1866.

(3) Actuellement directeur technique de la Société des anciens établissement, S. Panhard et Levassor, avenue d'Ivry.

(4) Ecole Polytechnique promotion 1872.

Les essais des prédécesseurs avaient échoué parce que la vitesse propre était insuffisante. Il fallait donc à tout prix l'augmenter, et dans de fortes proportions. La chose était difficile, car aucun moteur léger n'avait fait son apparition.

En 1883, un petit modèle de dirigeable de 60 mc. fut créé et pourvu d'un moteur d'un demi-cheval. Ce moteur de 10 kg. avait été construit par le capitaine Krebs, et la pile qui pesait 25 k. pouvait développer 2/3 de cheval pendant 1 h. 1/4.

Ce petit modèle fut essayé, ayant bien entendu, comme propulseur, une hélice à 2 branches; la vitesse obtenue fut 4 m. 50 par seconde. C'était un grand progrès accompli sur les dévanciers.

Guidés par les études et les savantes recherches de Dupuy de Lôme, les officiers s'attachèrent surtout à remplir les conditions nécessaires : stabilité de route diminution des résistances à la marche, rapprochement des centres de traction et de résistance, obtention d'une vitesse capable de résister aux vents régnant les trois quarts du temps dans notre pays.

Les formes de leurs dirigeables furent déterminées par des éléments raisonnés: la simplicité de construction n'entra pas en ligne de compte, et ils ne se firent pas les esclaves d'une classe de surfaces géométriques.

D'après le projet de 1883, le nouveau ballon, baptisé *La France,* était une surface de révolution engendrée par des courbes paraboliques dont la formule général est :

$$x = a\left(1 - \frac{z^n}{c^n}\right)$$

Rappelons un peu ses formes.

Ce ballon était dissymétrique par rapport à son équateur, l'arrière étant beaucoup plus allongé que l'avant.

La partie avant avait une longeur égale à trois fois

le rayon de l'équateur, était engendrée par une parabole du second degré :

$$x = a\left(1 - \frac{\varepsilon^2}{c^2}\right) c = 3a$$

La partie arrière, au contraire, dont la longueur était neuf fois le rayon de l'équateur, avait pour méridien, une parabole du 4e degré.

$$x = a\left(1 \frac{\varepsilon^4}{c^4}\right) c = 9a$$

La raison de cette différence dans le degré est la suivante :

Plus l'exposant *n* est grand pour un allongement donné plus la surface est bombée vers le sommet et la parabole du 4e degré engendre ainsi à l'arrière un volume notablement supérieur à celui qui est engendré par la parabole du second degré de même équateur et de même allongement

Le ballon du projet de 1883 (1) avait pour rayon à l'équateur 4 m. 200 et le volume engendré était de 1.861 mètres cubes. Il avait 50 m. 40 de longeur et 8 m. 400 de diamètre, ce qui correspond à un maître-couple de 55 m² 4 (fig. 71).

Examinons d'abord comment les résistances à l'avancement avaient été diminuées.

(1) Un inventeur brésilien M. Ribeiro de Souza a publié en 1893 une notice qu'il a adressée à toute les sociétés savantes, dans laquelle il revendique, comme inventé par lui, que le système de navigation aérienne au moyen de ballons planeurs ainsi que la forme dissymétrique avec le maître-couple placé à l'avant. Nous avons pu, grâce à l'obligeance de M. L. Godard, nous procurer cette notice. M. de Souza y écrit que le ballon *La France* est une copie du *Victoria* qu'il avait fait construire chez M. Lachambre en 1881, d'après ses brevets pris en octobre de la même année (no 145512).

Le *Victoria* avait en effet la forme d'un cigare dont l'allongement était de cinq fois le diamètre.

Résistance à l'avancement. — MM. Renard et Krebs étudièrent avec grand soin cette condition ; c'est pourquoi l'allongement de leur ballon égalait six fois le diamètre : presque l'allongement du second dirigeable de Giffard, mais sans compromettre la sécurité des aéronautes.

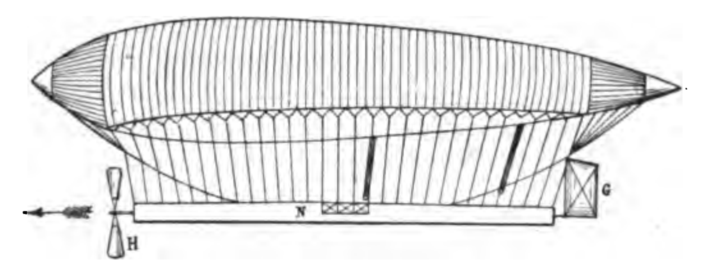


Fig. 71. — Dirigeable *La France.*

La forme dissymétrique avec le maître-couple placé au quart de la longueur à partir de la pointe avant et celle adoptée pour la carène des navires, du reste la nature l'a donnée aux oiseaux et aux poissons (1).

Nous avons dit précédemment ce que firent les officiers de Chalais, pour déterminer approximativement le rapport de la proue à la poupe : avec des solides en ébonite, dans lesquels le maître-couple avait des positions différentes, ils purent remarquer, en les faisant tomber dans l'eau avec la même vitesse, ceux dont la descente eut lieu sans mouvements de lacet.

Ce n'est là, évidemment, qu'un moyen de recherches très grossier.

Comme dans le ballon de Dupuy de Lôme, un ballonnet à air de dimensions calculées permettait d'assurer l'invariabilité de formes, et une housse remplaçait le filet. Jusqu'alors, on avait fait la housse avec des

(1) Cependant certains poissons, et des meilleurs nageurs, ont la tête effilée et non pas le museau camard comme la carpe et d'autres.

fuseaux semblables à ceux du ballon, ce qui forçait à la consolider par des rubans placés transversalement de façon qu'elle pût travailler dans ce sens ; le colonel Renard la forma de fuseaux transversaux et réalisa ainsi une notable réduction de poids.

La suspension par résaux triangulaires, indiquée par Dupuy de Lôme n'était plus suffisante avec l'allongement choisi ; afin d'éviter le renversement les officiers durent imaginer un autre dispositif dont ils n'ont pas fait connaître les détails, mais dont l'expérience a prouvé l'efficacité. Au lieu de passer par un même point nodal, les balancines furent groupées en deux faisceaux ; elles venait s'attacher sur deux traversières qui partaient des pointes et se fixaient vers le milieu de la nacelle.

La longeur de cette nacelle fut portée à 33 mètres, et les suspentes qui la reliaient presque verticalement à la housse étaient légères et courtes ; elles dessinaient à peu près deux plans parallèles à l'axe.

Ce dispositif diminue singulièrement la résistance due aux cordages, qui atteignait presque la moitié de la résistance totale, avec le système enchevêtré de Dupuy de Lôme ; de plus, il rapproche le centre de traction et le centre de résistance, et diminue, par suite, le moment perturbateur de la traction ; mais il diminue en même temps la stabilité du système, puisqu'il rapproche son centre de gravité et celui de la masse d'air déplacée.

La nacelle, formée de quatre bambous reliés par des entretoises et cordelettes de fer, était recouverte de soie parfaitement tendue, ce qui donne une résistance beaucoup moindre qu'avec des parois d'osier par exemple ; elle avait au milieu une hauteur de 2 mètres et n'était pas accessible sur toute sa longueur ; les aéronautes se tenaient à peu près dans le milieu, à hauteur des fenêtres ménagées sur les côtés, car les batteries de piles étaient vers l'arrière.

Stabilité. — La forme dissymétrique du ballon, en éloignant le centre d'inertie de la pointe arrière, augmentait évidemment l'efficacité du gouvernail. Celui-ci était formé de deux étoffes de soie bien tendues sur un même cadre, mais très légèrement éloignées l'une de l'autre, de façon à constituer deux pyramides quadrangulaires de très faible hauteur accolées l'une à l'autre.

Cette forme est très rationnelle car elle semble avoir pour effet de rendre la résistance de l'air sur le gouvernail sensiblement perpendiculaire au cadre, tandis qu'avec la forme ordinaire, cette résistance produit, surtout aux grandes vitesses, une concavité plus ou moins accentuée du côté le plus éloigné du ballon, ce qui a pour effet de coucher sur l'axe du dirigeable la résultante de la pression de l'air sur le gouvernail.

Nous avons vu dans la deuxième partie de cet ouvrage, que la dissymétrie du ballon contribue puissamment à assurer la stabilité de route, nous n'y reviendrons pas ici, mais il est bien certain qu'avec cette dissymétrie il y a moins à craindre les tête-à-queue ; les quelques oscillations qui peuvent se produire mettent tranquillement le ballon dans le nouvel axe du vent relatif.

Enfin, les savants officiers avaient modifié la position de l'hélice qui, jusqu'à cette époque, avait été placée à l'arrière dans tous les dirigeables ; ils l'avaient placée à l'avant (1).

(1) A ce sujet, M. R. Soreau, dans son mémoire de 1893 (auquel nous avons fait de nombreux emprunts), s'exprime ainsi : « On pourrait, il est vrai, reprocher à l'hélice placée à l'avant de donner au fluide que va traverser le ballon une vitesse propre en sens contraire de la marche ; encore faudrait-il être bien fixé sur la variation qui en résulte pour la résistance, car la force centrifuge et la vitesse que prend l'air sous les palettes produisent sans doute une raréfaction suivant l'arbre de l'hélice. Il serait très intéressant de faire des expériences sur ces phénomènes ; je ne serais pas surpris qu'en mettant une hélice de forme et de dimensions convenables à l'avant d'un solide pisciforme (fig. 72), on fût amené à constater une diminution notable de la résistance. Supposons, en effet, une

La place de l'hélice à la proue facilite la bonne tenue du dirigeable contre le vent. Quoi qu'on en ait dit, cette position est tout à fait judicieuse.

Si l'on avait, en effet, à rouler sur un mauvais terrain une brouette ayant des brancards et une ossature flexibles, il n'est pas douteux qu'on la traînerait plutôt que de la pousser. Or, n'est-ce pas le cas du ballon, machine faite d'étoffe souple, de cordages et d'osierg, qui ne parvient à se déplacer dans l'air qu'au prix des plus grands efforts? (R. Soreau).

Toutefois, l'idée de placer l'hélice à l'avant a des partisans et des adversaires, mais, en tous les cas, la ma-

hélice plus grande que le maître-couple, et une proue de faible longueur, de telle sorte que l'air soit raréfié entre les filets *oo'* et comprimé au delà : d'une part, la compression sur la proue sera moins grande et, d'autre part, l'air se refermera plus fortement sur la poupe, ce qui augmentera la récupération à l'arrière du travail dépensé à l'avant. Ainsi, non seulement on n'augmenterait pas la résistance en mettant l'hélice à la proue, mais on la diminuerait ».

« Je dois ajouter qu'aucune expérience ne me met en mesure de pouvoir affirmer l'exactitude de ces vues ».

Du reste, l'hélice placée à la proue a l'avantage de mordre dans un air qui n'a pas encore été troublé par le passage du ballon.

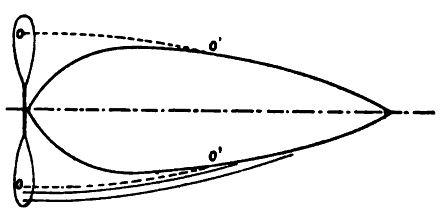


Fig. 72.

« Quoi qu'il en soit, le courant de l'hélice ne peut certainement produire qu'un faible accroissement de résistance dans les ballons dirigeables, tels qu'on les construit actuellement, c'est-à-dire avec l'hélice sur le prolongement de la nacelle. Il n'y a donc pas d'inconvénient sérieux à la mettre en avant ; il y a au contraire un grand avantage à agir de la sorte, puisque la bonne tenue dans le sens de la marche en est facilitée ».

nœuvre du gouvernail est facilitée, et le ballon se tient et se dirige mieux contre le vent.

Cette hélice était formée de deux palettes évidées au centre, d'un diamètre de 7 mètres et d'un pas de 9 m. 30; elle était constituée par deux tiges de bois reliées entre elles par des lattes convenablement courbées, et recouvertes d'un tissu en soie vernie, aussi tendu que possible.

Il n'est pas, jusqu'à la forme allongée de la nacelle, qui ne contribue, en accusant la direction de la résistance minimum, à augmenter la stabilité.

Légèreté du moteur. — Le moteur du dirigeable de Chalais était une machine Gramme que le commandant Krebs sut combiner de façon à obtenir une légèreté inconnue jusqu'alors : il avait une force de 8 chx 5 et ne pesait que 100 k. Le moteur qui le remplaça et qui fut étudié avec le concours de M. Gramme, donnait 9 chevaux sous le même poids.

Piles. — Le générateur d'électricité était une pile due aux savantes recherches du commandant Renard (2).

On peut assimiler cette pile à un réservoir hydraulique contenant cinq fois plus de liquide que les piles au bichromate, et muni d'un jeu de robinets qui permet d'obtenir soit un débit abondant, mais de courte durée, soit un débit faible, mais prolongé ; l'expérience a montré qu'il est avantageux de placer ces robinets à 1 volt 25 au-dessous du niveau.

La grande énergie totale de la pile Renard (1) est due principalement à la substitution de l'acide chromique au bichromate dont la base alcaline absorbe, dans les

(1) La pile Renard de 1888 ayant une solution chlorochromique de densité 1.083, renferme HCl et CrO^3 à équivalents égaux.

La puissance spécifique est de 15 à 20 watts par kg. et l'énergie spécifique de 30 watts-heure par kg. (Hospitalier).

(2) Les piles légères du ballon dirigeable *La France*, par le commandant Renard (*Revue de l'Aéronautique*).

réactions, une portion de la liqueur excitatrice ; cette capacité atteint son maximum quand le rapport du poids de l'acide chromique à celui des acides hydrogénés est égal à $\frac{5}{6}$; elle est alors de 55 watts par décimètre carré de zinc et par heure.

La gamme de débit s'obtient par la substitution partielle ou totale de l'acide chlorhydrique à l'acide sulfurique des piles au bichromate ; l'énergie totale du mélange ne change pas, mais l'énergie par seconde augmente avec la proportion d'acide chlorhydrique et peut être quintuplée. Enfin, le commandant Renard étudia minutieusement l'influence des formes géométriques et la relation de position des deux électrodes.

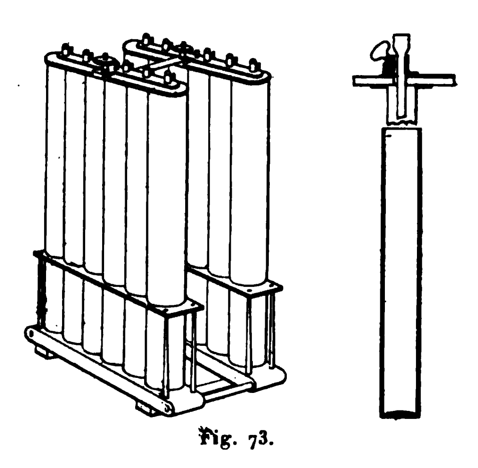


Fig. 73.

Cette découverte a augmenté de moitié la capacité et quintuplé la puissance des meilleures piles qui existaient à l'époque. Les piles dont s'étaient servis les frères Tissandier pesaient quatre fois plus pour une même capacité ; celles du commandant Renard étaient donc véritablement l'âme du dirigeable *La France*.

La figure 73 montre un groupe de douze éléments réunis en face six par six ; ce groupe pesait 10 k., et il en fallait quatre pour obtenir un cheval sur l'arbre.

Un crayon de zinc non amalgamé, de très faible diamètre, est entouré de la pièce polaire positive, formée par un cylindre en argent platiné de $\frac{1}{10}$ de millimètre ; le tout vient plonger dans un cylindre en gutta ou en ébonite où se trouve la dissolution d'acide chromique dans la liqueur excitatrice.

Le moteur (1) transmettait son mouvement par l'intermédiaire d'un pignon denté à une grande roue qui elle-même portait le pignon attaquant l'arbre de l'hélice. Il y avait donc une forte réduction de vitesse. Cet arbre d'hélice creux, afin d'être très léger, d'une longueur de 15 mètres environ, tournait dans des paliers oscillants maintenus en place par des tendeurs. Il pouvait prendre de légers mouvements de flexion qui, d'ailleurs, ne produisaient pas de résistances anormales.

L'évaluation du travail nécessaire pour imprimer à l'aérostat une vitesse déterminée avait été faite de deux manières : 1° En partant de la formule générale indiquée précédemment et des données posées par Dupuy de Lôme à propos de la résistance de l'air dans ses expériences ; 2° en appliquant la formule admise dans la marine pour passer d'un navire à un autre de forme peu différente, en supposant que, dans le cas du ballon, les travaux soient dans les rapports de densité des deux fluides, air et eau. On arriva ainsi à admettre la nécessité d'un travail d'au moins 5 chevaux par seconde, pour obtenir une vitesse propre de 8 à 9 mètres ; d'où, en tenant compte du rendement de la machine, un travail électrique sensiblement double, mesuré aux bornes, soit 10 chevaux environs.

(1) En raison de la presque impossibilité de condenser la vapeur à bord des navires aériens, une machine à vapeur construite dans les plus grandes conditions de légèreté n'aurait pas permis d'emporter une plus grande quantité d'énergie totale que le moteur et la pile employés. Dans ces conditions, l'avantage à l'époque était évidemment l'électricité qui donne du premier coup le mouvement de rotation et supprime le danger du feu.

Nous en arrivons aux ascensions du dirigeable ainsi décrit.

Première ascension du ballon « La France ». — Le 9 août 1884, date désormais mémorable, suivant les paroles d'Hervé-Mangon à l'Institut, le ballon prêt à s'élever dans les airs devait soulever les poids suivants :

Ballon et ballonnet..........	369 k.
Chemise et filet.............	127
Nacelle complète............	452
Gouvernail..................	46
Hélice	41
Machine	98
Bâtis et engrenages.........	47
Arbre moteur...............	30,5
Piles et appareils divers.....	435,5
Aéronautes (deux)...........	140
Lest	214
Ensemble.....	2.000 k.

L'après-midi, le ballon, ayant à son bord ses deux inventeurs, quittait les atteliers militaires de Chalais-Meudon, par un temps calme, évoluait avec la plus grande docilité dans le voisinage de l'établissement, puis rentrait à Chalais où il descendait sur la pelouse même du départ, malgré les écueils dont elle était entourée (1). Il avait parcouru 7 km. 600 en 20 minutes.

Neuf jours après, le 18 août, à l'Académie des sciences, une communication était faite par M. Hervé-Mangon ; nous allons en donner des extraits :

« Un essai de navigation aérienne, couronné d'un plein succès, vient d'être accompli dans les ateliers militaires de Chalais ; la présente note a pour objet de porter à la connaissance de l'Académie les résultats obtenus.

« Le 9 août, à 4 heures du soir, un aérostat de forme allongée, muni d'une hélice et d'un gouvernail, s'est

(1) La pelouse du départ avait 75 mètres sur 150, elle était donc rectangulaire, mais environnée d'arbres, de bâtiments élevés, et bordée d'un côté par un étang de 3 hectares.

élevé en ascension libre, monté par M. le capitaine du génie Renard, directeur de l'établissement, et M. le capitaine d'infanterie Krebs, son collaborateur depuis six ans.

« Après un parcours total de 7 km. 600, effectué en vingt-trois minutes, le ballon est venu atterrir à son point de départ, après avoir exécuté une série de manœuvres avec une précision comparable à celle d'un navire à hélice évoluant sur l'eau.

. . . .

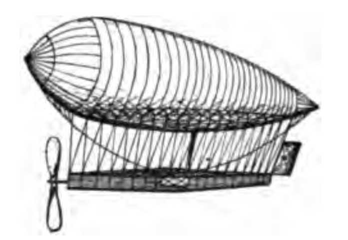


Fig. 74. — Le ballon « La France » vu obliquement.

« L'exécution de ce programme, et les études qu'il comporte, ont été faites par nous en collaboration ; toutefois il importe de faire ressortir la part prise plus spécialement par chacun de nous dans certaines parties de ce travail.

« L'étude de la disposition particulière de la chemise de suspension, la détermination du volume du ballonnet, les dispositions ayant pour but d'assurer la stabilité longitudinale du ballon, le calcul des dimensions à donner aux pièces de la nacelle, et enfin l'invention de la construction d'une pile nouvelle, d'une puissance et d'une légèreté exceptionnelles, ce qui constitue une des parties essentielles du système, sont l'œuvre personnelle de M. le capitaine Renard.

« Les divers détails de construction du ballon, son mode de réunion avec la chemise, le système de con-

struction de l'hélice et du gouvernail, l'étude du moteur électrique calculé d'après une méthode nouvelle, basée sur des expériences préliminaires permettant de déterminer tous ses éléments pour une force donnée, sont l'œuvre de M. Krebs, qui, grâce à des dispositions spéciales, est parvenu à établir cet appareil dans des conditions de légèreté inusitées.

« Les dimensions principales du ballon sont les suivantes : longueur 50 m. 42, diamètre 8 m. 40, volume 1.864 mètres cubes.

. . . .

A 4 heures du soir, par un temps presque calme, l'aérostat laissé libre et possédant une très faible force ascensionnelle s'élevait lentement, jusqu'à la hauteur des plateaux environnants.

« La machine fut mise en mouvement, et bientôt sous son impulsion, l'aérostat accélérait sa marche, obéissant fidèlement à la moindre indication de son gouvernail.

« La route fut d'abord tenue nord-sud, se dirigeant sur le plateau de Châtillon et de Verrières ; à la hauteur de la route de Choisy à Versailles, et pour ne pas s'engager au-dessus des arbres, la direction fut changée et l'avant du ballon dirigée sur Versailles.

« Au-dessus de Villacoublay, nous trouvant éloignés de Chalais d'environ 4 km. et entièrement satisfaits de la manière dont le ballon se comportait en route, nous décidions de revenir sur nos pas et de tenter de descendre sur Chalais même, malgré le peu d'espace découvert laissé par les arbres. Le ballon exécuta son demi-tour sur la droite, avec un angle très faible (environ 11°) donné au gouvernail.

« Le diamètre du cercle décrit fut d'environ 300 mètres.

« Le dôme des Invalides, pris comme point de direction, laissait alors Chalais un peu à gauche de la route.

« Arrivé à hauteur de ce point, le ballon exécuta avec

autant de facilité que précédemment. un changement de direction sur sa gauche ; et bientôt il venait planer à 3oo mètres, au-dessus de son point de départ. La tendance à descendre, que possédait le ballon, à ce moment, fut accusée davantage par une manœuvre de soupape. Pendant ce temps, il fallut à plusieurs reprises, faire machine en arrière et en avant afin de ramener le ballon au-dessus du point choisi pour l'atterrissage.

« A 8o mètres au-dessus du sol, une corde larguée du ballon fut saisie par des hommes et l'aérostat fut ramené dans la prairie même d'où il était parti. Vitesse moyenne 5 m 5o par seconde.

. . . .

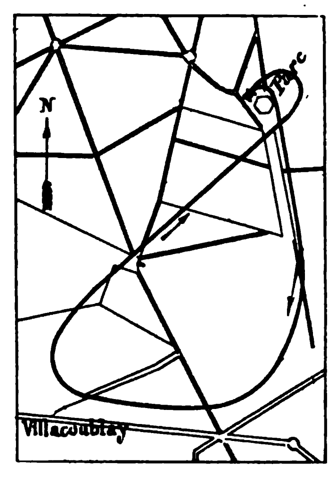


Fig. 75.

« Ce premier assai sera suivi prochainement d'autres expériences faites avec la machine au complet, permettant d'espérer des résultats encore plus concluants ».

Cette expérience eut un retentissement considérable et provoqua un vif enthousiasme.

Il fallait réussir du *premier coup* à revenir au point de départ, à cause de l'opinion du public qui considérait

les essais précédents de Giffard, de Dupuy de Lôme et même des frères Tissandier, comme des insuccès complets, car aucun d'eux n'était revenu au point où il était parti.

Cette fois, l'opinion publique se modifia et il comprit qu'une première réussite de ce genre en laissait d'autres derrière elle. Cependant ce n'était qu'une ascension d'essai, dans laquelle les aéronautes n'avaient pas osé employer toute leur force motrice, et s'étaient hâtés de rentrer au port, désireux qu'ils étaient de se donner à eux-mêmes la démonstration pratique qu'ils avaient préparée pour les autres.

La figure 75 représente le parcours de la première ascension du ballon *La France*.

Voici d'ailleurs les résultats :

Chemin parcouru avec la machime, mesuré du sol	7 600 m.
Durée du parcours	23 min.
Vitesse moyenne à la seconde. . .	5 m. 50
Nombre d'éléments employés. . .	32
Force électrique dépensée aux bornes de la machine.	250 k.
Rendement probable de la machine.	0 70
» » de l'hélice . .	0 70
» total environ.	$\frac{1}{2}$
Travail de traction.	125 k.
Résistance approchée du ballon. .	22 k. 800

Les ascensions ultérieures furent exécutées sur de plus longs parcours et dans des conditions atmosphériques moins favorables.

Deuxième ascension du 12 septembre. — La seconde eu lieu le 12 septembre de la même année par un vent de 6 mètres contre lequel le ballon lutta sans reculer. Pour remonter le courant, on dut mettre toute la pile

en action ; mais la machine tournant avec une énorme rapidité s'échauffa au point d'obliger à interrompre le courant ; au moment où le capitaine Renard manœuvrait le commutateur, l'anneau sautait et le ballon désemparé de sa machine était entraîné sur Velizy où l'atterrissage avait lieu sans autre incident.

Cet insuccès dû à un accident de machine sans importance fit oublier la brillante démonstration du 9 août, et amena dans l'opinion publique un revirement irraisonné.

Il fallait effacer cette mauvaise impression et un nouvel anneau fut demandé à M. Gramme.

Troisième et quatrième ascensions. — Le 8 novembre, le ballon monté par MM. Renard et Krebs s'éleva par un fort beau temps et se dirigea vers Boulogne, il vira au-dessus de Billancourt et fut ramené à Chalais avec une grande facilité : sous l'action de la pile entière, on atteignit une vitesse moyenne de 6 m. 30.

Dans l'après-midi, les aéronautes firent une nouvelle sortie, et se contentèrent, à cause du brouillard, d'évoluer autour du parc sans le perdre de vue ; la chute d'une partie des fils des balais, n'empêcha pas le ballon d'atterrir sur la pelouse des départs, mais la vitesse moyenne descendit à 4 mètres.

Ascensions d'août et de septembre 1885

En 1884, comme on l'a vu, quatre ascensions furent exécutées : une le 9 août, une le 12 septembre qui ne réussit pas à cause d'une avarie de machine, et deux le 8 novembre qui réussirent parfaitement.

Le commandant Renard s'exprime ainsi dans sa seconde communication à l'Académie des sciences (1) :

(1) Sur les nouvelles expériences exécutées en 1885 au moyen du ballon dirigeable, *La France*, par Ch. Renard (1886).

« Le ballon ne pouvait emporter en 1884 que deux aéronautes, il avait été impossible d'exécuter des mesures précises de la vitesse propre du ballon. Il s'agissait cette année de combler cette lacune ; aussi le ballon dut-il être modifié dans certaines parties.

« Il fallait d'abord l'alléger et gagner le poids d'un aéronaute.

« J'y réussis facilement en modifiant certains organes (ventilateurs, piles, commutateurs, voile de queue).

« La machine motrice multipolaire employée l'année dernière ayant donné lieu à divers accidents, je la remplaçai par un moteur à deux pôles dont la construction fut confiée à M. Gramme. Notre éminent ingénieur électricien nous livra un appareil excellent, très robuste, admirablement équilibré et d'un poids sensiblement égal à celui du premier.

« La transmission de mouvement dut aussi être modifiée. Pour éviter les dégrènements et les ruptures de dents dus aux déformations inévitables de la nacelle, je suspendis tout le train des roues dentés à l'arbre même de l'hélice, le pignon n'étant relié à la machine motrice que par l'intermédiaire d'un manchon à calage élastique permettant au train de se déplacer notablement sans que la transmission cesse de se produire.

« Enfin des précautions minutieuses furent prises pour assurer le graissage continu et le refroidissement des coussinets du pignon dont la vitesse pouvait être portée à un moment donné à 3.600 tours par minute.

« Tout cet ensemble fut essayé à outrance dans le hangar de Chalais. Ces essais nous donnèrent une entière confiance dans le nouveau dispositif.

« A la vitesse de 3.600 tours qui put être soutenue indéfiniment, la force motrice développée sur l'arbre put être portée à 9 chx.

« La poussée de l'hélice fut mesurée, on trouva qu'elle était reliée à l'intensité du courant par la formule :

$$H = 0,753\,C - 17,3$$

« H, poussée de l'hélice en kilogrammes,

« Courant en ampères.

« Cette formule se vérifie très exactement pour des valeurs de C, variant de o à 108 ampères. On peut démontrer qu'elle s'applique sensiblement au cas où le ballon, au lieu d'être mobile, obéit librement à l'effort de l'hélice.

« Enfin, je m'attachai à améliorer la pile, et je réussis encore à l'alléger en modifiant légèrement la composition du liquide des éléments.

« J'arrive au procédé, très simple, destiné à mesurer la vitesse du ballon par rapport à l'air ambiant. Comme l'hélice est à l'avant, on ne peut employer un manomètre, car il donnerait des indications trop fortes ; en revanche, rien ne gêne pour l'emploi d'un loch aérien. Ce loch fut organisé de la façon suivante : un ballon en baudruche de 120 litres, fut rempli en partie de gaz, de façon à rester exactement en équilibre dans l'air. Ce ballon fut attaché à l'extrémité centrale du fil d'une bobine de soie de 100 mètres de longueur.

« Pour faire une mesure, l'opérateur enroule autour de son doigt l'autre extrémité du fil, lâche le ballon qui s'éloigne horizontalement vers l'arrière, et qui, arrivé au bout de sa course, produit sur le doigt un choc sensible. L'instant du départ et celui du choc final sont pointés sur un chronomètre. On mesura avec soin la dérivation de ce loch ; elle fut trouvée égale à o m. 117 par seconde. Dès lors, la vitesse v du ballon était reliée à la durée t du déroulement par la formule :

$$v = \frac{100}{t} + 0,117$$

(v est exprimé en mètres et t en secondes).

Les choses étant ainsi préparées, on profita du premier beau jour pour essayer le nouveau mécanisme en l'air.

Ascension du 25 août. — La première ascension de l'année 1885 eut lieu le 25 août. Il s'agissait seulement d'essayer un nouveau mécanisme. Dès lors, il importait peu de revenir au point de départ ; aussi ne crut-on pas devoir attendre que le vent devînt assez faible pour permettre la direction absolue.

Le ballon s'éleva par un vent assez rapide (6 m. 50 à 7 mètres) soufflant de l'est. Il était monté seulement par les deux aéronautes MM. Ch. et P. Renard.

Pendant une heure, il lutta contre le vent, avançant légèrement dans les basses régions, reculant un peu dès qu'il fut arrivé à l'altitude de 400 mètres.

Diverses évolutions furent exécutées, et, l'aérostat, après avoir dérivé de 1.800 mètres environ, atterrit heureusement près de Villacoublay où il était attendu par l'équipe des ouvriers militaires de Chalais. Le mécanisme s'était admirablement comporté pendant cette expérience préliminaire et le succès des essais futurs parut certain.

Ascension du 22 septembre. — Le 22 septembre, à peine un mois après, une autre ascension fut décidée. Le vent soufflait du nord-nord-est, c'est-à-dire de Paris. Le ballon emportait trois aéronautes : le capitaine Ch. Renard, chargé de la machine et du gouvernail, le capitaine P. Renard, ayant pour mission d'exécuter les mesures et les observations de toute nature, et M. Duté-Poitevin, aéronaute de l'Etablissement, chargé de la manœuvre du lest et de la soupape.

Le départ eut lieu à 4 h. 25 du soir, par un temps humide et brumeux. L'hélice fut mise en mouvement et le cap dirigé sur Paris.

« Nous eûmes, dit le capitaine Ch. Renard, d'abord quelques embardées, mais elles cessèrent bientôt de se produire et dès lors, malgré le vent, le ballon s'engageant au-dessus du village de Meudon, traversa le chemin de fer et atteignit la Seine vers 5 heures, à l'extré-

mité ouest de l'île de Billancourt. La vitesse propre du ballon fut alors mesurée au moyen du loch. Elle fut trouvée exactement égale à 6 mètres par seconde.

« A 5 h. 12, après quarante-sept minutes de voyage, l'aérostat entrait dans l'enceinte de Paris. Malgré notre

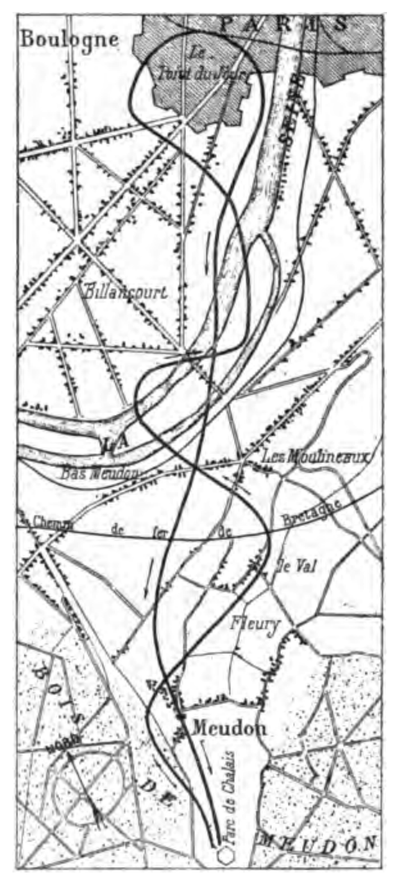


Fig. 76.

désir de prolonger l'expérience, nous dûmes alors effectuer notre voyage et revenir à Chalais.

« Le temps était devenu, en effet, de plus en plus

humide, et nous avions sacrifié la plus grande partie de notre lest.

« Le retour s'effectua rapidement, car nous avions, cette fois, le vent pour nous. Onze minutes suffirent pour parcourir, au retour, un chemin qui nous avait coûté, à l'aller, quarante-sept minutes d'efforts. L'aérostat vira de bord, pour atterrir debout au vent et notre nacelle descendit doucement sur la pelouse des départs.

La figure 77 montre le diagramme du parcours horizontal sur le sol.

Ascension du 22 septembre 1885. Diagramme du parcours horizontal sur le sol.

Résultats numériques

ALLER (contre le vent).

Vitesse moyenne de l'hélice. .	55 tours.
Vitesse propre dans l'air (mesuré au ballon loch . . .	6 m. par seconde.
Durée du trajet, 47 minutes ou	2.820″
Parcours.	7.700 m.
Vitesse moyenne sur le sol : $\frac{7.700 \text{ m.}}{2.820''} =$	2 m. 73
Vitesse du vent (contraire à la marche) 6 m. — 2 m. 73 =	3 m. 27

(Ce dernier chiffre est douteux, en raison du tracé très sinueux de l'itinéraire).

RETOUR (avec le vent).

Vitesse de l'hélice.	55 tours.
Vitesse propre.	6 m. par seconde.
Durée du trajet, 11 minutes ou	660″

Parcours . . . . 5.700 m.
Vitesse moyenne sur le sol :

$$\frac{5.700}{600} = \quad 8 \text{ m. } 63$$

Vitesse du vent (favorable à la
marche) . . . . 2 m. 63

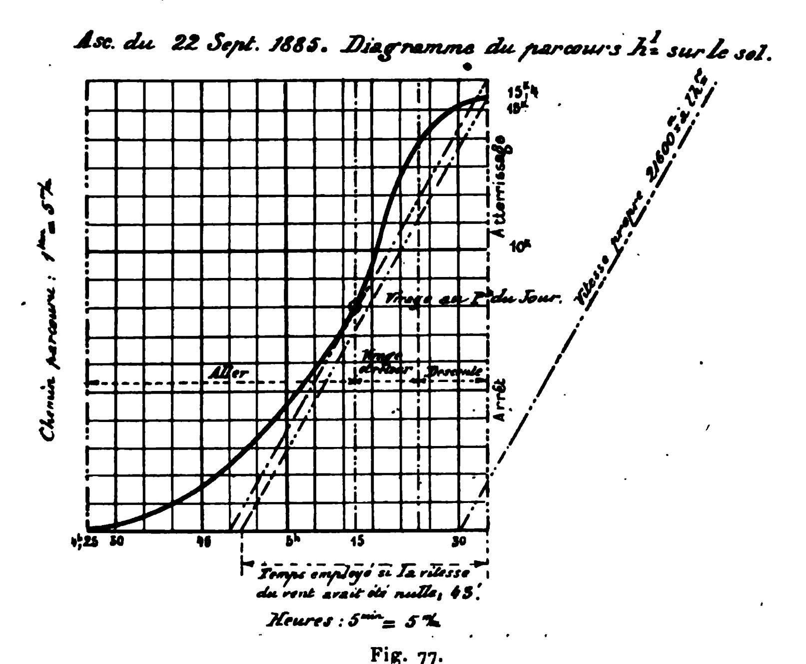


Fig. 77.

Remarque. — Les évaluations de la vitesse du vent sont trop faibles, car les trajectoires sont sinueuses, et le vent n'était jamais ni complètement favorable, ni tout à fait contraire. L'ensemble des mesures exécutées un peu avant le départ, conduit pour le vent à une vitesse de 4 mètres environ à la seconde.

Ascension du 23 septembre. — Le lendemain, devant M. le général Campenon, Ministre de la guerre, et M. le

général Bressonnet, président du comité des fortifications, on recommença l'expérience de la veille.

L'itinéraire fut à peu près le même, mais le vent était plus faible et entraînait le ballon vers Paris.

De nouvelles mesures de vitesse furent exécutées, et les résultats des deux journées furent concordants ; le ballon revint, comme la veille, à son point de départ.

La figure 78 montre le diagramme du parcours horizontal sur le sol.

Ascension du 23 septembre 1885. Diagramme du parcours horizontal sur le sol

Résultats

ALLER (avec le vent).

Vitesse moyenne de l'hélice, (pile relevée)	47 tours.
Vitesse propre moyenne dans l'air	5 m. 12 par sec.
Vitesse msyenne sur le sol : $\frac{6.500 \text{ m.}}{1.020 \text{ s.}} =$	6 m. 32
Vitesse du vent favorable à la marche	1,20

RETOUR (contre le vent).

Vitesse moyenne de l'hélice (pile entièrement plongée) .	55 tours.
Vitesse propre moyenne dans l'air	6 m. par seconde.
Vitesse propre sur le sol . .	5 m. 42
Vitesse du vent contraire à la marche.	0,68

Remarque. — Cette différence entre les deux vitesses

du vent provient de la différence des altitudes : 250 mètres, en moyenne à l'aller, et 400 mètres au retour.

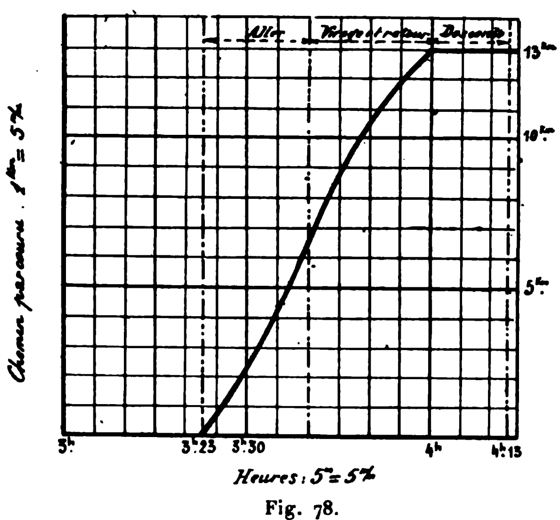


Fig. 78.

Formules du travail. — Les mesures de vitesses qui furent exécutées pendant ces deux expériences ont permis d'établir, sur des *bases sérieuses*, les formules fondamentales qui peuvent servir à l'évaluation de la résistance des ballons allongés, analogues à *La France*, y comprenant le filet et la nacelle. Les résistances mesurées sont beaucoup plus grandes que les savants aéronautes l'avaient cru sur la foi des expériences très incomplètes dont ils avaient dû se contenter pour l'établissement de leur projet.

Ces formules ont été données précédemment, nous allons néanmoins les indiquer à nouveau et leur donner une application numérique.

Si l'on désigne par :

R, la résistance de l'air au mouvement longitudinal de l'appareil (en kilogrammes) ;

v, sa vitesse en mètres par seconde ;
θ le travail de traction direct ;
T le travail sur l'arbre de l'hélice ;
D, le diamètre du ballon.
On aura :

$$R = 0{,}01685\ D^2v^2 \quad (1)$$
$$\theta = 0{,}01685\ D^2v^3 \quad (2)$$
$$T = 0{,}0\ 326\ D^2v^3 \quad (3)$$

(0,01685 et 0,0326) sont des coefficients trouvés par le colonel Renard, dans ses expériences).

Prenons une application ; s'il s'agit, par exemple d'un ballon allongé de 8 mètres de diamètre, la force motrice nécessaire pour lui imprimer une vitesse propre de 10 mètres par seconde (36 km. à l'heure) vitesse suffisante pour le diriger dans la plupart des cas, serait, d'après l'équation (3) :

$$T = 0{,}0326 \times \overline{8}^2 \times \overline{10}^3 = 2086{,}4 \text{ kgm. ou } 27 \text{ chx } 9,$$
soit 28 chx.

Pour un bállon de 10 mètres de diamètre (environ 3.142 mètres pour un allongement de 6 D), on aurait :

$$T = 0{,}0326 \times \overline{10}^2 \times \overline{10}^3 = 3\ 260 \text{ kgm.} = 43 \text{ chx. } 5$$

Tels sont les résultats obtenus dans les ascensions du ballon *La France.*

Les vitesses des sept ascensions se résument d'ailleurs par le tableau suivant :

Dates.	Nombre de tours de l'hélice par minute.	Vitesse moyenne du ballon.	Observations.
9 août 1884.	42 t.	4m58	Le ballon rentre à Chalais.
12 sept. —	50	5.45	Avarie de mach., desc. à Velizy.
8 nov. —	55	6	Le ballon rentre à Chalais.
8 nov. —	35	3.82	id.
25 août 1885	55	6	Vent de 7 mètres environ. Descente à Villacoublay.
22 sept. —	55	6	Le ballon rentre à Chalais.
23 sept. —	57	6.50	id.

L'aérostat est donc revenu 5 fois sur 7, à son point de départ.

Depuis, le commandant Renard, aujourd'hui colonel, n'a pas fait d'autres sorties. Il lui a suffi de démontrer aux gens de bonne foi que la direction des ballons n'est pas une utopie, et d'effectuer un grand nombre d'essais et de mesures utiles à de nouvelles expériences.

Nous avons dit précédemment qu'un nouveau dirigeable le *Général Meusnier* avait été construit en 1893 à Chalais, mais il n'a jamais été fait aucune ascension avec cet aéronat (1).

En voici quelques détails :

Sa longeur est de 70 mètres et son diamètre 9 mètres environ, correspondant à un maître-couple de 62 m^2 700. L'allongement est donc de 7,8 environ ; son volume est de 3.400 mc.

Une housse porte, par l'intermédiaire de suspentes et de balancines, une nacelle de 40 mètres formée de bambous et de longerons évidés, en sapin, avec entretoises en tubes d'acier sans soudure.

Un moteur à gazoline de 40 à 45 chevaux qui pèse au plus 1.300 k. (y compris l'approvisionnement pour dix heures de marche) ce qui donne 30 k. par cheval fera tourner l'hélice, de 9 mètres de diamètre, à raison de 200 tours par minute.

Il est à regretter que les ascensions que ce nouveau dirigeable devait exécuter furent remises et n'eurent jamais lieu. La science aérostatique et la navigation aérienne auraient pu, il y a 9 ans, recevoir une poussée qui peut-être aurait donné des résultats que nous avons eu depuis ou que nous ne possédons pas encore.

Il ne nous est pas permis d'apprécier les innombrables travaux des savants officiers de Chalais, qui certes sont les plus instruits en ce qui concerne la question d'aérostation en général, mais leur œuvre resta une des

(1) Des expériences devaient avoir lieu à la fin de 1893, mais le ministre de la Guerre les fit retarder et aucune ascension n'eut lieu avec le nouveau dirigeable.

plus belles du siècle dernier. Ils n'ont d'ailleurs pas été dépassés par les expériences récentes de M. Santos-Dumont, malgré que les résultats de ce dernier aient été concluants et que le Grand prix de M. H. Deutsh lui ait été décerné : ces résultats viennent 16 ans après leurs expériences, et il faut bien remarquer que les moteurs ont progessé d'une façon extraordinaire depuis cette époque.

Projets de Gabriel Yon

Reprenant la suite des études interrompues par la mort de son maître et ami Henry Giffard, Gabriel Yon (1), l'ingénieur aéronaute dont les ateliers aérostatiques du Champ-de-Mars (2) étaient très réputés, a fait connaître en 1880 et 1886 deux projets de dirigeables à vapeur très remarquables et qu'il serait désireux de voir mettre à exécution.

Ancien collaborateur de Giffard, en 1855, et de Dupuy de Lôme en 1872, Yon, profitant de l'expérience acquise dans ses travaux antérieurs, décrit très clairement, dans une note sur la direction des aérostats (3), en 1880, un modèle de dirigeable, de 1.200 mètres cube environ.

Ce dirigeable, de forme allongée ayant cinq fois le diamètre, recouvert d'une housse de suspension, pourvu

(1) L. Gabriel Yon (1835-1894) était fils d'un cordier très connu pour la construction des filets de ballons. Yon débuta avec le grand mouvement aérostatique de 1850, avec les Poitevin, les Godard et autres, puis il travailla avec Giffard en 1855 et devint son ami. Il a laissé à sa mort, un grand nombre de projets et peut être cité comme un constructeur aéronaute distingué.

(2) Les ateliers aérostatiques de l'ingénieur Yon ont été ensuite repris par ses collaborateurs, MM. L. Godard et Surcouf associés, et démolis en 1899, un peu avant l'Exposition universelle de 1900.

(3) M. Louis Godard s'est fait un réel plaisir de nous communiquer tous les renseignements et documents qu'il possédait sur G. Yon et sur ce qui a trait à la direction des ballons. Nous le remercions sincèrement de son amabilité.

d'un ballonnet à air et muni de deux hélices propulsives mues par une machine à vapeur de 13 chevaux. La figure 79 en donne une idée.

Différent en cela de Giffard, Yon monte ses hélices le plus près possible du centre de résistance, c'est-à-dire de

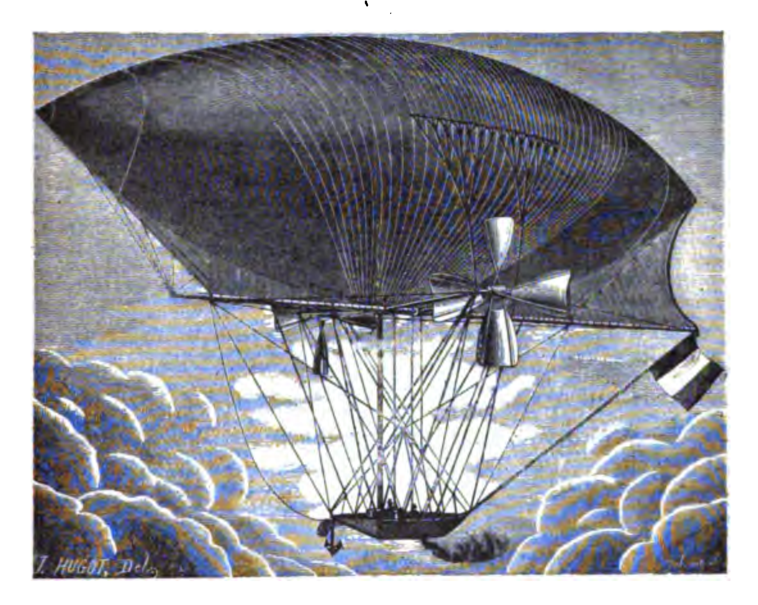


Fig. 79. — Projet de G. Yon (1880).

chaque côté et un peu en dessous du ballon porteur et il chauffe sa chaudière avec des hydrocarbures liquides (1).

(1) A ce sujet. Yon écrit dans sa note :

« Le moteur, système Compound est à très grande détente, il est pourvu d'un condenseur à surface, desservi par deux puissants ventilateurs.

« La chaudière est tubulaire, du type à foyer intérieur, avec tubes en prolongement. Le foyer est alimenté sous presssion d'air avec des brûleurs à hydrocarbure liquide ; ces brûleurs sont également appropriés pour servir à la combustion de l'hydrogène pur provenant du ballon.

« L'air est amené aux brûleurs dès sa sortie du condenseur. Une autre partie du volume, débitée par les ventilateurs, et prise à la

En partant de ce principe, et en employant un ballon de 30 mètres de diamètre et 150 mètres de longeur, soit en chiffres ronds 60.000 mètres cubes, on obtiendra une force ascensionnelle de 70.000 kg. Yon écrit à se sujet: « Sa maîtresse section, celle de la suspension et de tout le système ramené en mètres carrés de plan mince, n'atteindrait pas au maximum 40 mètres carrés.

« Si nous lui fixons une vitesse de 60 km. à l'heure, chiffre déjà près de trois fois supérieur au vent moyen relevé pendant le courant d'une année dans nos climats, on aurait en chevaux sur l'arbre de l'aérostat:

$$\frac{40 \text{ m.} \times 135 \text{ gr.} \times \overline{16,67}^3}{75} = 333,533$$

« Et sur l'arbre des hélices 333,533 + 20 o/o = 400,239

« En y ajoutant l'effort nécessaire pour le mouvement des ventilateurs, on obtiendrait environ 600 chevaux en laissant une part suffisante à l'imprévu.

« Un aérostat de cette importance nécessiterait au moins deux aéronautes, deux mécaniciens, un timonier et un

volonté de l'aéronaute, soit avant ou après le passage dans les tubes de condensation, est refoulée jusqu'au ballonnet compensateur qui en rejette l'excès par la soupape régulatrice de pression à double effet, la déverse ensuite entre la poche inférieure triangulaire et la chemise de suspension, d'où elle retourne dans l'atmosphère par des trous circulaires destinés à lui livrer passage.

« Le complément ayant servi à la condensation de la vapeur est rejeté directement au dehors, dès la sortie des tubes réfrigérants.

« Le foyer est entièrement clos, et la distribution des hydrocarbures et de l'oxygène nécessaires à leur combustion ainsi que la sortie des gaz de cette dernière sont complètement enveloppés à l'instar des lampes Davy perfectionnées.

« Tous les mouvements mécaniques, la roue de commande des drisses du gouvernail, les cordes des soupapes de sûreté et la robinetterie de chauffe se trouvent à la portée de l'aéronaute.

« Le parcours sera toujours, cela se comprend, subordonné à la quantité de combustible emporté. D'après les calculs et les expériences de M. Dupuy de Lôme, on peut compter qu'un semblable aérostat pourra séjourner au maximum 22 heures en l'air et qu'il sera doué en air calme, d'une vitesse de 40 km. à l'heure ou 11 mètres par seconde. »

capitaine, soit six personnes ; en y joignant l'effort ascensionnel sollicité par une masse semblable et un peu d'imprévu, on peut admettre le chiffre de 1.000 kg., ce qui avec tout l'ensemble complet, machine, combustible, etc., porte à 66.000 kg ; le poids total.

« Il serait donc possible de transporter environ 60 personnes en 28 heures, à raison de 60 km. à l'heure et un plus grand nombre à une vitesse moindre.

« Il est certain qu'entre mon projet et les chiffres que nous venons de traiter, il existe une marge comme volume et vitesse d'appareil qui prête à la réflexion ; mais j'ai tenu tout d'abord à poser la question sous sa forme la plus étendue afin de bien en faire saisir la portée (1).

« On m'objectera très probablement, et je n'en disconviens pas, que la navigation aérienne par le plus lourd que l'air donnerait des vitesses supérieures ; mais on me permettra de faire observer qu'étant donné l'état actuel de la science, et en y comprenant les ressources mécaniques dont on peut disposer, il serait peut-être téméraire de tenter un essai (en le supposant possible) sans se précautionner de ce que j'appellerai ici mon flotteur de sûreté. »

En 1886, à l'époque où l'aéronaute-ingénieur, dont le nom honore la science aérostatique, construisait pour les puissances étrangères ses parcs aérostatiques complets, il donna la description (dans une brochure (2) sur le matériel aérostatique militaire) d'un autre dirigeable à vapeur devant servir de torpilleur aérien, qui n'a pas été construit malheureusement, quoique sa disposition générale n'ait rien que de très rationnel.

(1) En effet, Yon allait vite en besogne : les chiffres qu'il donne sont exagérés et nous ne voyons guère la possibilité de construire un pareil engin. Quant à la vitesse de 60 km. à l'heure, il est probable qu'elle ne sera jamais atteinte avec le ballon dirigeable.

(2) Dans cette brochure, comme dans celle de 1880, tous les détails sont bien expliqués, tout y est clair et précis et montre la netteté de vue de l'élève de Giffard.

Comme dans le dirigeable précédent dont nous venons de décrire l'ensemble général, Yon a supprimé le filet qu'il a remplacé par une chemise de soie ; il a donné la forme ovoïde au ballon porteur, et l'a muni d'un ballonnet de 500 mètres cubes.

Le moteur se compose d'une machine à vapeur à grande vitesse, système Compound à triple expansion (genre pilon) ; l'avantage de ce type de moteur étant de reporter sur la verticale toutes les vibrations provenant de la marche de ses organes ce qui permet d'éviter tout mouvement de lacet au système. Yon écrit :

« L'emploi judicieux qui a été déjà fait de ce genre de machine dans les torpilleurs français et étrangers me dispense de m'y étendre plus longuement, et il me suffira de dire que l'on est parvenu actuellement à en ramener le poids à moins de 35 kg. par cheval, chaudière, machine et condenseur compris.

« La chaudière tubulaire à retour de flamme est chauffée au moyen de brûleurs spéciaux permettant de se servir d'hydrocarbures liquides ; ces brûleurs facilement maniables, au moyen de robinets, permettent au mécanicien de régler la production de vapeur d'une façon complète.

« De plus la vapeur est liquéfiée dans un condenseur spécial à grande surface, de sorte que c'est la même eau qui sert continuellement.

« Enfin l'emplacement de l'hélice, comme le montre la figure 80 a été déterminé par la nécessité d'appliquer la puissance le plus près possible du centre de résistance, correspondrait à celui de l'appareil proprement dit ; lequel comme cette application avec une seule hélice est difficile, la place la plus rationnelle se trouve être entre la nacelle et le ballon. Cette position, outre l'avantage qu'elle a de placer l'hélice dans la verticale passant par le centre de gravité du système, permet la transmission de l'effort de poussée dans la partie la plus rigide de la sus-

pension et l'emploi d'une hélice de grand diamètre (11 mètres) et à grande surface d'ailes et à petit nombre de tours (70 t.) qui, à mon avis, est le plus sûr moyen d'avoir un rendement normal. »

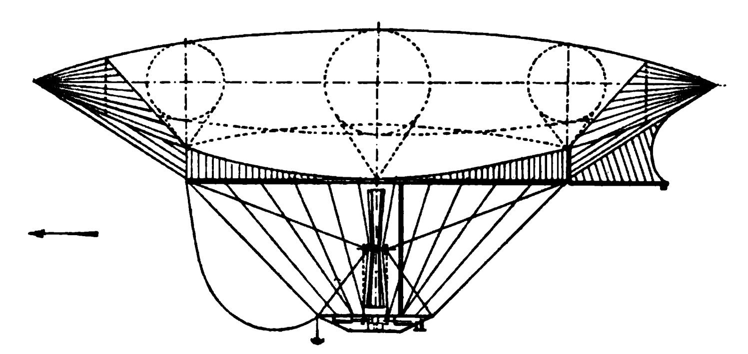


Fig. 80. — Deuxième projet de G. Yon (1886).

Voici d'ailleurs des chiffres sur les dimensions, la résistance à l'avancement, la vitesse et les principaux organes de ce terrible engin de guerre :

Vitesse absolue en air calme.	40 km.
Longueur du ballon	60 m.
Diamètre —	10 m.
Hauteur —	13,533
Section du maître-couple.	88 mq.
Surface totale.	1.450
Volume du ballonnet ou poche à air . . .	500 mc.
— total du ballon	2.900 mc.
Force ascensionnelle correspondante. . .	3.200 k.
Vitesse par seconde.	11 m. 111
Section du plan mince $\frac{88}{8}$.	11 m².
Résistance proportionnelle à l'avancement du système.	2.036 k.
Force correspondante en chevaux	27,16
Recul et frottement des ailes dans l'air . .	20 o/o

Puissance totale de la machine.		43 ch. 1/2
Nombre de tours de la machine par minute.		400 t.
Diamètre de l'hélice		11 m.
Pas de l'hélice		11 m.
Nombre de tours par minute.		70 t.
Surface en projection horizontale de chacune des ailes.		5 m. 500
Effort de poussée sur chacune des ailes . .		101.850
Vitesse de l'hélice à la circonférence. . .		40 m. 317
Poids de la partie mécanique complète	1.600 k.	3.200 k.
Poids du matériel aérostatique complet	800 k.	
Engins de guerre soulevés (dynamite et torpilles)	400 k.	
Effort ascensionnelle disponible .	400 k.	

Comme on le voit, le torpilleur aérien dirigeable de Yon était étudié en vue de la défense des places fortes ou des grandes villes menacées d'investissement en raison de la facilité avec laquelle on pouvait — grâce à cet engin formidable devenu pratique — détruire impunément tous les travaux d'approche nécessaires à l'installation des batteries que l'ennemi s'efforcerait en vain d'établir.

Mais il y a loin de la coupe aux lèvres et l'engin formidable n'a pas encore existé. Peut-être verrons-nous le projet grandiose de l'élève et ami de Giffard entrer dans la voie d'exécution et les essais couronnés de succès Pour l'avenir de la locomotion aérienne, nous le souhaitons ardemment.

Dirigeable de Schartz

Ne voulant pas sans doute s'inspirer de ce qui avait été fait en France, comme ballons dirigeables, un Alle-

mand, Schartz, patroné et encouragé par l'empereur Guillaume II, avec l'aide d'un fabricant d'aluminium, Berg, eut l'idée de construire un dirigeable en métal extrêmement léger, en aluminium (1).

Il y a longtemps que l'idée du ballon métallique était « dans l'air », et, depuis les derniers progrès de la métallurgie de l'aluminium, la question avait passé à l'état aigu dans quelques cervelles d'inventeurs, comme l'a dit malicieusement le *Cosmos*. On arrive, en effet, à produire des feuilles d'aluminium de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur qui ne pèsent que 270 grammes au mètre carré et qui restent douées d'une grande résistance. L'emploi de ces tôles légères faisait espérer qu'on échapperait à la déconvenue du précurseur dans la construction des ballons métalliques, dont le nom français, Marey-Monge, détermine immédiatement la pensée d'un devancier.

C'est, en effet, en 1843 que Marey-Monge tenta d'établir le premier ballon métallique, dont la construction coûta 25 à 30 mille francs.

C'était une sphère en cuivre jaune très mince, qui en rappelait une autre, celle du jésuite Lana (2).

Les feuilles de laiton employées par Monge avaient $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur, et étaient soudées entre elles à l'étain. Lors du gonflement à l'hydrogène, par suite des propriétés endosmotiques de ce gaz et des fuites inévitables, le ballon n'eut qu'un défaut : celui de ne pouvoir s'enlever; de plus Marey-Monge n'avait sans doute pas compté l'aplatissement certain de cette enveloppe sous son propre poids.

(1) La densité de l'aluminium pur est 2,7, mais les tôles minces sont généralement un alliage qui résiste mieux, dont la densité est environ 3.

(2) Le jésuite Lana croyait pouvoir enlever sa sphère en faisant le vide. Il fut un précurseur, mais n'obtint qu'un effondrement total.

Cependant on ne pouvait rien affirmer avant l'expérience et, avec l'aluminium, il semblait que les résultats seraient favorables.

En Allemagne, l'Etat et l'Empereur encourageant très sérieusement toutes les tentatives aéronautiques, l'inventeur du ballon en aluminium, Schartz, a pu faire construire son aérostat et sa machine dans un parc de Berlin et par les soins des aéronautes militaires de l'armée.

Et il s'est bien envolé le ballon en aluminium patroné par Guillaume II lui-même. Il a été essayé dans la capitale de l'Allemagne le 3 novembre 1897. Son éphémère existence s'est terminée, dès la première envolée, par une chute un peu trop rapide Qu'importe, il est monté, et il a eu les honneurs de discussions assez vives jusque dans les couloirs de notre Académie des sciences.

Voici d'ailleurs des détails sur ce dirigeable d'un nouveau genre.

L'aérostat était un immense cylindre terminé par un cône, véritable obus, forme chère aux artilleurs, mais qui, dans l'espèce, semble assez mal choisie. Il est clair que la pointe formait, à l'avant, une surcharge fort nuisible.

Le ballon, fig. 81, avait 40 mètres de longueur et, comme section du cylindre, une ellipse dont l'axe vertical était de 14 mètres et l'axe horizontal de 12 mètres. Il déplaçait environ 5.000 mètres cubes.

En dessous, et réunie par des tiges rigides, à l'ossature, se trouvait la nacelle portant une machine de 20 chevaux et quatre hélices (1), dont trois propulsives et la quatrième sustentative.

(1) Ces quatre hélices étaient placées ainsi qu'il suit : une derrière le moteur et au-dessous, une de chaque côté du ballon (propulsion et direction) et la troisième à axe vertical, sous la nacelle.

Le gonflement d'un aérostat de ce genre n'est pas chose facile. On ne saurait, à aucun moment, y avoir pression différente de l'air ambiant, sous peine de le voir se déformer. On y a employé l'artifice suivant : Un immense sac de soie, capable de remplir toute la cavité, y a été logé vide et y a reçu le gaz. En se développant, il a chassé l'air qui l'entourait. On a ensuite fermé les soupapes et enlevé le sac, crevé au préalable. La réussite ne s'est pas faite du premier coup, et l'inventeur est mort avant d'avoir eu le plaisir de voir l'opération réussir et son appareil s'enlever dans les airs.

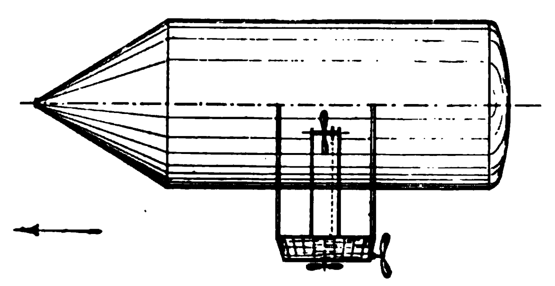


Fig. 81. — Dirigeable en aluminium de Schartz.

Sa femme a poursuivi courageusement des expériences, et c'est grâce à sa persévérance que la seule et unique ascension eut lieu le 3 novembre 1897.

Le ballon gonflé avait une force ascensionnelle et pouvait s'enlever, mais, malgré ses dimensions, un seul aéronaute pouvait prendre place dans la nacelle. Celui-ci ayant à s'occuper des quatre hélices, des soupapes, une machine à surveiller, avait une besogne dépassant les capacités d'un seul homme et c'est peut-être à cela qu'il faut attribuer la catastrophe qui a terminé l'expérience.

Le ballon s'est élevé à 280 mètres de hauteur, et on affirme qu'il a marché à une vitesse de 7 mètres et évolué à différentes reprises.

Malheureusement l'aéronaute, le jeune mécanicien

Jagels Platz, qui avait eu le courage de se lancer dans cet appareil, débordé par la multiplicité des organes à manœuvrer, a vu qu'il allait à un désastre ; il a ouvert les soupapes, le ballon descendant rapidement est venu s'aplatir sur le sol et l'aéronaute a eu la chance de n'avoir que de légères blessures.

Les ballons métalliques, nécessairement rigides, ont un premier défaut, c'est de manquer de l'élasticité que réclame la dilatation constamment variable des gaz intérieurs et extérieurs. Le ballon en étoffe n'est pas gonflé entièrement afin de pouvoir prendre son développement si l'on monte et se resserrer si l'on descend, sans perdre de gaz. Dans le ballon métallique, il faut gonfler complètement avant le départ, car la moindre différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur le déformerait ; malgré leur étanchéité, les ballons métalliques ne permettront pas les ascensions de longue durée. A moins que leur intérieur soit pourvu d'une sorte de vessie natatoire en relation avec l'atmosphère, et qui maintienne constant l'équilibre de pression.

La charpente métallique, reliant invariablement la nacelle au ballon, semble, de son côté, une erreur. L'ensemble manque de l'élasticité voulue dans un fluide aussi capricieux que l'air ; d'autre part, on ne voit pas comment la descente peut s'opérer sans fausser ou briser le tout ; cette descente fut-elle normale et bien conduite.

Il y a aussi les inconvénients de l'électrisation du ballon métallique par influence.

Toujours est-il que le premier ballon métallique s'est enlevé et a manœuvré : peut-être que plus tard le second reviendra à son point de départ.

Il n'en est pas moins vrai que c'est une étape franchie en même temps qu'un enseignement pour l'avenir. Si l'inventeur n'était pas mort, son aide maladroit n'aurait pas perdu la tête au milieu des soupapes, et il y aurait

peut-être eu une tentative d'aérostat dirigeable qui aurait donné des résultats appréciables.

Navire aérien du comte Zeppelin

C'est bien, en effet, un transatlantique aérien que ce dirigeable du comte Zeppelin (1), construit sur les bords du lac de Constance, à Manzell.

Secondé par de grandes sommes mises à sa disposition par l'empereur Guillaume II et par une société fondée par actions et pertes, le comte Zeppelin a fait construire, en 1899 et 1900, l'aérostat monstre en aluminium dont les dimensions colossales laissent rêveuses bien des intelligences.

A propos de ce ballon dirigeable, le comte a déclaré qu'on méconnaissait complètement le but qu'il s'est proposé. Laissons-lui la parole :

« On me suppose des desseins que je n'ai jamais eu. Je n'ai pas la prétention de créer un véhicule capable de faire concurrence aux chemins de fer ou aux bateaux à vapeur, même pas aux ballons captifs qui font le service d'éclaireurs dans un rayon limité.

« Je m'efforce de réaliser un véhicule capable d'aller là où il y a un grand intérêt à se rendre rapidement et où aucun autre moyen de transport ne peut parvenir ou au moins pas assez vite ou pas assez sûrement.

« Pour atteindre ce but, on ne peut se servir d'un appareil à voler qui est obligé d'atterrir dès que la ma-

(1) Le comte Ferdinand de Zeppelin est né le 8 juillet 1838 à Constance. Il a le grade de lieutenant-général et il est attaché à la suite du roi de Wurtemberg. Il fit une partie de la campagne de 1870 en qualité d'officier de cavalerie.

C'est le 6 juillet 1892, à Berne, que le comte fit sa première ascension, avec son ami M. Keller, ingénieur.

Le comte a un frère, le comte Eberhard de Zeppelin, historiographe distingué.

chine cesse de marcher pour une cause quelconque, et il n'y a pas de machine à laquelle cela n'arrive pas de temps à autre. Pour nous, cet arrêt serait funeste dans la plupart des cas.

« Je crois que le problème ne peut être résolu que par un ballon dirigeable capable de séjourner dans l'air sans le secours d'aucune machine et possédant au moins deux moteurs indépendants dont l'arrêt de l'un ne puisse entraver le fonctionnement de l'autre.

« Mon ballon doit être capable de marcher pendant plusieurs jours sans avoir besoin de reprendre du gaz ou des provisions quelconques. Sa vitesse doit être suffisante pour qu'il soit capable de rendre les services que j'en attends ».

Le navire aérien a la forme d'un long cylindre (fig. 82) qui est, en réalité, une charpente prismatique ayant pour section droite un polygone de 24 côtes terminé par des pointes ogivales. La carcasse en aluminium a 128 m. de longueur, 11 m. 30 de diamètre inscrit, et 11 m. 66 de diamètre circonscrit. La capacité totale est de 11.300 mètres cubes, c'est la plus grande qui ait été réalisée jusqu'ici comme ballon dirigeable.

La charpente se compose de 16 membrures à 24 pans, dont les côtés sont formés de barres en treillis de 0 m. 18 de hauteur. Ces polygones sont renforcés par des tiges partant des sommets et venant s'attacher tangentiellement à un cercle de 1 mètre de diamètre. Les pièces longitudinales qui réunissent les membrures sont également en forme de treillis et sont renforcées tous les 0 m. 80 par des brides en aluminium.

Au delà des membrures extrêmes, les pièces longitudinales s'infléchissent graduellement pour se réunir aux extrémités. La charpente en aluminium est recouverte à l'intérieur et à l'extérieur d'un filet de cordes de ramie à mailles de 0 m. 20 à 0 m. 25.

Les membrures forment 17 compartiments dans cha-

cun desquels est placé un ballon indépendant qu'on remplissait d'hydrogène avant les essais. Ces compartiments ont chacun 8 mètres de longueur, excepté ceux qui sont directement au-dessus des deux nacelles qui n'ont que 4 mètres.

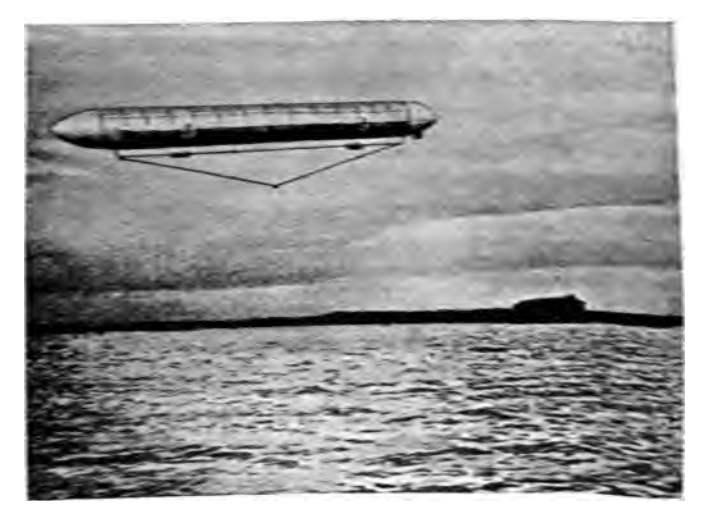


Fig. 82. — Navire aérien du comte Zeppelin.

Les enveloppes des ballons sont rendues imperméables à l'air, au moyen d'une préparation appelée ballonine, inventée par un aéronaute finois du nom de Lievindahl.

Chaque ballon est muni d'une soupape de sûreté automatique, et cinq d'entre eux de soupapes qui peuvent être manœuvrées par des cordes, depuis les nacelles. L'enveloppe extérieure de la carcasse n'est pas imperméable à l'air ; elle sert seulement à constituer une surface lisse offrant peu de résistance et protégeant les ballons contre les influences atmosphériques.

Cette enveloppe est constituée par deux parties : une intérieure formée d'étoffe de soie très légère, et une extérieure qui est imperméable à l'eau.

Les deux nacelles ou plateformes sont aussi en aluminium, elles ont 6 à 7 mètres de longueur sur 1 m. 80 de largeur et 1 mètre d'épaisseur. Elles pèsent 220 kilos et forment un double fond pouvant contenir un lest d'eau. Ces plateformes sont suspendues à 2 ou 3 mètres au-dessous du corps du navire par des tubes d'aluminium et se trouvent chacune à une distance de 34 mètres de l'extrémité correspondante du corps du ballon. Sous celui-ci est disposée une poutre en treillis en aluminium de 60 mètres de longueur et 1 mètre de hauteur, pour augmenter la rigidité longitudinale de ce corps.

Chaque plateforme porte un moteur à benzine de Daimler, à allumage électrique, pouvant développer 16 chevaux à 700 tours par minute. Ces moteurs pèsent chacun avec le volant et les tuyaux de circulation d'eau 450 kg., ce qui donne environ 28 kg. par cheval (1).

La consommation de benzine est de 0,375 par cheval-heure, et, avec des réservoirs de 60 kg., on peut marcher 10 heures. Ces moteurs ont été construits il y a quatre ans, et, bien qu'ils fussent supérieurs comme légèreté à ceux qui avaient été employés jusque-là pour des essais analogues, le constructeur a obtenu depuis des essais encore plus favorables.

Chaque moteur actionne, par des engrenages et un axe muni d'un joint universel, deux hélices en aluminium placées de chaque côté du ballon avec leur axe à 1 m. 50 environ au-dessous de l'axe de ce corps, à la hauteur du centre de résistance de l'air.

Ces propulseurs ont un diamètre relativement faible, 1 m. 15 et 1 m. 25 seulement ; ils pèsent 15 kg. chacun, ils sont à 4 branches et tournent à 1.100 tours par minute. Le lest d'eau est contenu dans deux sacs de 200 kg.

(1) Ce poids est évidemment élevé en 1899, surtout avec les grands progrès des moteurs pour automobiles. En France, les poids moyens des moteurs à cette époque étaient de 12 à 14 k., c'est-à dire la moitié (Moteurs Panhard et Levassor).

environ, ils sont placés à l'intérieur de la charpente et disposés de façon qu'on puisse vider 20 kg. à la fois. Ces sacs sont placés près des extrémités ; il y en a 12 autres contenant 50 kg. chacun et placés dans la partie centrale. En outre, il y a 4 sacs contenant chacun 40 kg. de sable mouillé ; ces quatre sacs sont suspendus aux plateformes.

Toutefois, le navire aérien peut être monté et descendu autrement que par le jet du lest ou la sortie d'une certaine quantité de gaz. Lorsque l'axe du corps est incliné et qu'on fait tourner les hélices, le navire monte ou descend suivant la direction de l'inclinaison. On obtient cette inclinaison, à volonté, par le déplacement d'une masse de plomb en forme de cigare pesant 150 kg., attachée à un petit chariot qui roule sur un chemin parallèle à l'axe du ballon.

Des cordes aboutissant aux nacelles permettent de varier la position de ce contrepoids.

L'appareil à gouverner a subi plusieurs modifications au cours des essais, mais au moment de la dernière ascension il y avait trois gouvernails : un horizontal à l'avant, pour diriger le navire dans le sens vertical, c'est-à-dire vers le haut ou vers le bas ; un petit vertical à l'avant et un grand vertical à l'arrière, tous sous le corps du ballon.

Le navire aérien a été monté sur un ponton couvert établi sur le lac, de sorte qu'on pouvait le lancer dans la direction du vent. Il reposait sur une plateforme flottante qu'on pouvait retirer pour l'essai.

Comme nous l'avons dit plus haut, le volume de gaz que pouvait recevoir le ballon était de 11.300 mètres cubes et, par suite, la force ascensionnelle de 12.000 kg. environ, avec de l'hydrogène pur.

Le poids total à enlever, y compris un équipage de 5 hommes, était calculé à 10.000 kg., il restait donc 1.500 à 2.000 kg. pour le lest et l'imprévu.

Avant la première ascension, rien n'avait été négligé pour arriver au but que se proposait le comte Zeppelin ; les moteurs avaient été essayés à bord d'un bateau sur le lac ; l'emploi de l'eau comme lest permettait de refroidir les cylindres. Quant à leur puissance de 32 chevaux ensemble, elle avait été déterminée par le calcul, en se basant sur les expériences antérieures.

Sur la section de 100 m² environ que présentait le dirigeable, on avait compté que 29 des 32 chevaux seraient réellement utilisés. On pouvait donc obtenir, d'après les calculs effectués en vue des efforts, une vitesse de 8 m. 12, avec les 29 chevaux.

Le calcul de la résistance opposée par l'air conduit d'ailleurs à un chiffre sensiblement supérieur à 32 chevaux si l'on applique la formule de Ritter, à tort ou à raison, applicable en ce cas. D'autre part, les expressions classiques de la force motrice du vent et de pression exercée dans sa direction, justifient l'emploi de 32 chevaux à la vitesse de 8 mètres à la seconde, surtout si l'on tient compte de la forme du ballon.

Première ascension. — La première ascension eut lieu le 2 juillet 1900, à la fin de la journée. Elle devait avoir lieu le jeudi 28 juin, mais, comme tout n'était pas complètement prêt, elle fut d'abord remise au vendredi, puis au samedi 30 juin.

Dans l'après-midi, il y avait en rade de Manzell une douzaine de vapeurs, un grand nombre de bateaux à moteurs et d'embarcations divers, remplis de curieux, une foule énorme stationnait également sur le rivage.

On estime le nombre des assistants accourus soit par bateaux à vapeur, soit par chemin de fer, à plus de vingt mille.

Nous empruntons à l'*Aérophile* (1) de juillet 1900 les détails suivants :

(1) *L'Aérophile*, revue mensuelle illustrée de l'Aéronautique et des sciences qui s'y rattachent (Directeur : M. Georges Besançon).

« L'ascension se faisant attendre, nous attendîmes patiemment jusqu'à 7 heures du soir ; on ne voyait que le va et vient des pontons transportant le gaz hydrogène. Le temps était splendide, très chaud, mais pas le moindre vent, comme le démontrait le ballon captif militaire non monté, qui est resté en l'air pendant toute la journée, portant un anémomètre transmettant électriquement la force du vent au bureau de l'entreprise.

« Après 7 heures, le pavillon bleu apparaissait sur le hangar, indiquant ainsi que l'ascension n'aurait pas lieu ce jour.

« Il paraît que le gonflement des 17 ballons demandait beaucoup plus de temps que l'on avait compté, et il faut ajouter aussi qu'une partie des réservoirs d'hydrogène en magasin depuis le mois d'août n'étaient plus pleins ; de plus la quantité de ces réservoirs était insuffisante, soit 2.500 au lieu de 2.000.

« Le dimanche matin, le départ était annoncé pour 5 heures du soir ; toute l'après-midi une assez forte brise régnait sur le lac, trop forte pour permettre un premier essai, il fallait donc de nouveau remettre l'expérience.

« Le lundi 2 juillet, par une journée magnifique et un temps calme, nous étions sur place à midi, de peur que l'on fasse le premier essai avant l'heure fixée afin de ne pas avoir de public. Il n'en fut rien, et il nous fallut attendre jusqu'à 7 heures et demie. Il y avait peu de monde, un seul vapeur, le *Kœnig Carl* amenant des invités du comte et quelques barques avec des curieux les plus assidus.

« Ce n'est qu'à 7 heures et demie que nous vîmes sortir le ballon sur son ponton, tiré par une centaine de soldats, ensuite un remorqueur le conduisit à quelques centaines de mètres sur le lac. Les soldats le tenaient par des cordes à raison de quatorze de chaque côté et le laissaient monter au commandement, mètre par mètre.

« A la hauteur de 12 mètres, le « lâchez tout » retentis-

sait, et le ballon s'élevait majestueusement et bien équilibré, aux applaudissements frénétiques des assistants.

« Les quatre hélices commençaient à fonctionner et le ballon se mit en marche contre le vent, il est vrai contre un courant assez faible.

« Peu à peu, il montait à 400 mètres environ et sous l'impulsion des gouvernails, il faisait plusieurs évolutions et decrivait un cercle; mais un quart d'heure après, le vent l'entraînait, vers Junnensland et, pour ne pas attérir sur terre ferme, le comte de Zeppelin le fit descendre très rapidement sur le lac. Le ballon se posait doucement avec ses deux nacelles sans faire jaillir une goutte d'eau et attendait son ponton que le remorqueur amenait.

« Cette descente imprévue était occasionnée par un entortillement de la corde du gouvernail, de sorte que ce dernier ne fonctionnant plus, le ballon ne pouvait plus se diriger contre le vent.

« Vers minuit le ballon était rentré dans son hangar.

« La première nacelle était montée par MM. le comte de Zeppelin, le baron de Bassus et un mécanicien, la seconde par M. Eug. Wolff et un mécanicien. Les deux nacelles était en communication par une passerelle de 50 m. de longueur.

« Ce premier essai n'est donc nullement concluant et il faudra attendre les résultats des ascensions ultérieures qui auront lieu sous peu.

« On a reconnu que l'action des hélices était plus faible, qu'on ne supposait. Cette circonstance peut tenir soit à une imperfection de la transmission, soit à des pressions latérales provenant de ce que la direction du vent n'est jamais rectiligne sur une longueur de 117 mètres. Quoi qu'il en soit, le comte Zeppelin a introduit dans la construction de son ballon, toutes les modifications qui soient de nature à augmenter l'efficacité du moteur. Il paraît que l'imperméabilité de l'étoffe des 17 ballons laisse à

désirer, ce qui n'est pas étonnant car la surface de ces aréostats dépasse beaucoup un demi-hectare.

« Le comte Zeppelin a introduit dans la construction que nous avons décrite une simplification remarquable, il a supprimé la soupape de 15 de ces 17 ballons et s'est contenté de laisser un vide intérieur pour la dilatation. Les deux ballons à soupape, sont dans le voisinage de chaque nacelle, et c'est à l'aide de ces soupapes que la descente a été exécutée de la façon la plus satisfaisante.

« On doit considérer cette opération comme étant un grand succès, car la manœuvre d'un aérostat de ce cube est d'une grande difficulté tant qu'il est à terre ».

Deuxième ascension. — La seconde ascension eut lieu le 17 octobre de la même année, dans l'après-midi.

Empruntons encore le récit de cette ascension à l'*Aérophile* de novembre 1900.

« Une expérience devait avoir lieu le 26 septembre. Elle fut retardée de plusieurs semaines par suite d'un accident qui aurait pu avoir les plus graves conséquences pour le ballon. Dans la nuit du 24 au 25, alors que tout était prêt pour le gonflement, la carcasse en aluminium suspendue à la toiture du hangar flottant s'abattait subitement en partie : le centre touchait rudement le sol, se pliant et se bosselant en différents endroits.

« La cause de cet accident doit être attribuée uniquement à l'action des vagues, qui ont scié lentement par suite du roulis les amarres en chanvre qui retenaient la partie centrale de l'aérostat. Les avaries ont été très rapidement et parfaitement réparées.

« Le 14 octobre, tout était terminé et, sans une tempête, on aurait pu opérer le gonflement qui a commencé le 17. Rapidement exécuté, à 4 heures, le pesage était fait, et à 4 h. 45 on prononçait le lâchez tout ».

« Nous avons été assez heureux pour obtenir de suivre les expériences à bord du vapeur officiel *Konig Karl*,

réservé aux invités du comte. Nous avons quitté le port de Friedrichshafen à 2 h. 1/2 pour nous rendre à Manzell, où il fallut attendre une heure et demie. A 4 heures et demie, on sortait le ballon du hangar. Le temps était à la pluie, le ciel tout couvert, mais il n'y avait pas le moindre vent.

« Un ballon militaire non monté, le constatait en se maintenant absolument dans la verticale, ce ballonnet était porteur d'un aéromètre dont les indications étaient enregistrées au moyen d'un fil. Un ballon pilote, lâché avant le lancer du dirigeable, après s'être élevé à plusieurs centaines de mètres est retombé à une vingtaine de mètres de son point de départ.

« A 4 h. 40, le ballon s'élevait lentement et bien équilibré, emportant dans la première nacelle le comte de Zeppelin, l'ingénieur Burr et le lieutenant de Krogh ; dans la seconde nacelle se trouvait M. Wolf et le mécanicien Gross.

« La force ascensionnelle était de 70 k. et le lest emporté de 1.200 k. Ce lest était si bien disposé et réparti sur toute la longueur, que l'on pouvait à peine remarquer une petite déformation (en forme de voûte) de l'axe longitudinal. Le ballon s'équilibrait à la hauteur de 300 m. au-dessus du lac.

« Les hélices, qui fonctionnaient dès le départ, imprimaient un mouvement de propulsion très apparent. En des circonstances aussi favorables, il eut été facile d'enregistrer la vitesse absolue par un parcours prolongé dans la direction du vent, mais les aéronautes en furent empêchés par le second gouvernail de l'arrière, qui placé trop près de l'enveloppe extérieure du ballon, se prit dans celle-ci. Il resta fixé sur babord, de sorte que l'aérostat tournait sur babord. Il fallut un certain temps pour se rendre compte de la cause de cette manœuvre involontaire, et, avant que les autres gouvernails agissent pour la corriger, le ballon s'était tellement appro-

ché de la terre, que les aéronautes se décidèrent à opérer une volt entière vers la gauche, et à marcher en l'arrière.

« Arrivé près du hangar, à la suite de cette manœuvre, on jugea qu'il était prudent de se diriger sur ce hangar, pour atterrir, le jour ayant considérablement baissé. Par manque d'expérience, l'opération fut mal exécutée, on tourna trop tôt, et le vent prenant l'aérostat de côté, l'entraîna loin de son abri. Il fallut recommencer la manœuvre qui cette fois tourna assez bien car le ballon prit une bonne direction qui devait l'amener, par une trajectoire inclinée juste sur le ponton, lorsqu'un des 17 ballonnets se dégonfla subitement, déterminant l'atterrissage qui se fit aisément, sans dégât essentiel. Il paraît que la soupape de la cellule s'est ouverte d'elle-même Il était 6 h. 5, la durée de l'ascension avait donc été de 1 h. 20.

« A 6 h. 15, le ballon se posait sur le lac, l'obscurité était à peu près complète, et à ce moment, le vent s'élevant prenait le ballon par le large et l'emmenait à la dérive. Nous fûmes obligés de le poursuivre en marchant en arrière pour lui faire passer une amarre. Le premier cordage s'engagea dans l'hélice d'un petit bateau à vapeur chargé de porter l'amarre du *Konig Karl* au ballon, le grand vapeur n'osant s'en approcher trop près. Il fallut alors mettre à l'eau une des embarcations du *Konig Karl* pour porter à l'aérostat un autre cordage qui y fut attaché par une personne inexperte. A peine le vapeur se mit-il en marche que l'amarre se détachait. Le vent s'étant encore élevé le ballon fut entraîné jusqu'à la hauteur de Meersburg avant que nous pûmes lui fixer une nouvelle amarre. Le retour s'opéra lentement, le ballon flottant toujours sur ces deux nacelles. On arriva à Manzell à 9 h. 45 du soir et les passagers du *Konig Karl* ne débarquèrent à Friedrichshafen qu'à 10 h. 15, mais nous n'avions pas souffert de la faim grâce aux

libéralités du comte de Zeppelin qui avait fait installer à bord du vapeur un somptueux buffet.

« Le comte et les aéronautes ne sont rentrés à l'hôtel d'Allemagne qu'à 1 h. 1/2 du matin. Les manœuvres pour amener le ballon dans son hangar flottant ont demandé un certain temps, car il est difficile pour faire entrer le ponton de le tenir exactement dans l'axe du hall.

« La reine de Wurtemberg a assisté à l'ascension à bord du vapeur *Konigin Charlotte.* Le roi, qui revenait de la chasse, la rejoignit à peu près à 6 heures sur le vapeur *Mümpelgard.*

« M. le docteur Hergesell, de Strasbourg, a pris part à toutes les délibérations concernant la sortie du ballon. Je crois qu'il est aussi chargé des travaux de triangulation pour déterminer la marche de l'aérostat.

« D'après le rapport de la Société pour la propagation de l'Aéronautique à Friedrichshafen, les géomètres n'ont pas encore relevé exactement le diagramme du parcours du ballon, mais ils prétendent qu'on peut admettre avec sûreté que la vitesse atteinte est de 8 mètres par seconde, malgré l'action contraire des gouvernails opposés inopinément l'un à l'autre.

« Il paraît qu'à la première ascension de juillet, les montres des observateurs chargés de calculer la vitesse de propulsion du ballon n'étant pas exactement réglées. Il est évident que cette fois on n'a pas commis la même négligence.

« L'enquête à laquelle nous nous sommes livrés nous a appris que plusieurs modifications ont été apportées au matériel depuis l'ascension du 2 juillet, où il fut démontré, paraît-il, que les oscillations du ballon autour de son axe horizontal transversal n'étaient, en effet, pas plus grandes qu'on ne les avaient calculées (environ 18 secondes pour un demi-mouvement de tangage).

« On a modifié la position du poids mobile qui, sus-

pendu à deux points assez éloignés l'un de l'autre, à 26 mètres au dessous du ballon est destiné à maintenir automatiquement la position horizontale de l'aérostat ou à l'incliner dans le sens désiré. En rapprochant du ballon le lest mobile, on croit éviter toute une série d'inconvénients : le tangage, la déformation de la carcasse qui se voûte, les dangers d'accrochage à la descente. De plus, cette disposition permet de supprimer la passerelle, et avec le poids ainsi gagné, on a adapté aux deux longerons longitudinaux d'en bas, une poutrelle en forme d'I qui augmente la rigidité de toute la carcasse. A cette tige, on a suspendu le lest mobile de 150 k. au lieu de 100, qui arrive au niveau du fond des nacelles, lesquelles sont pourvues d'un double fond et possèdent une petite cale remplie d'eau, seul lest employé à bord du ballon, de crainte que les grains de sable jetés au dehors ne viennent gêner la marche du mécanisme.

« Par suite de la suppression de la passerelle, on a gagné la place du gouvernail à pivot horizontal qui a été placé à l'avant, dans le but d'incliner le ballon à volonté. pour le faire monter ou descendre.

« L'officier chargé de l'opération difficultueuse du gonflement a eu l'amabilité de nous donner quelques renseignements sur le procédé employé : les ballons ont des anses dans lesquelles sont passées des cordes tenues par des soldats placés sur les deux galeries situées sous le toit du hangar. En tirant sur ces cordes, ils font monter à volonté le ballon, et toute l'opération se fait très facilement sans la moindre friction. L'opération terminée on enlève les cordes.

« Le gouvernement a mis à la disposition du comte, une cinquantaine de soldats choisis de la garnison de Veingarten ».

Troisième ascension. — La troisième et dernière ascension eut lieu le 21 octobre par un temps calme. Cet essai

ne dura que 13 minutes, mais présenta un intérêt particulier en ce que le navire décrivit, dans son trajet, un huit allongé, et descendit à une très faible distance de son point de départ.

Bien que la descente sur l'eau eut été très douce, il y eut, néanmoins encore quelques légers dommages, et comme la saison était trop avancée, on ne fit plus d'essais.

Au sujet de cette ascension, l'*Aérophile*, d'après la traduction de M. E. Strauss s'exprime ainsi :

« Le comte Zeppelin a fait une troisième ascension qui à tous les points de vue, a obtenu plus de succès que les précédentes. Pour la première fois, il a réussi à parcourir, du point de départ, sur une grande étendue du lac, un large circuit, et à regagner l'endroit d'où il s'était élevé. Le balancement de l'aérostat était de nouveau parfait. Les virages et les courbes décrites ont eu lieu avec plus de précision que mercredi dernier. De plus, l'expérience de ce jour présentait plus d'intérêt en permettant de constater de manière précise la *vitesse*. Le vent était encore plus faible, toutefois de direction constante. De la direction prise par plusieurs ballons pilotes, il fut loisible de constater que jusqu'à près de 200 mètres d'altitude régnait le calme plat et que dans les couches supérieures il y avait un très léger courant, se dirigeant vers le nord-ouest, d'environ 2 mètres à la seconde. L'aérostat s'équilibra à une hauteur de 200 mètres, de manière à peu près constante, et dût avoir à lutter avec des courants tout au plus de 0 m. 5 jusqu'à 0 m. 75 à la seconde. *Les plus grandes vitesses* atteintes par le ballon, que nous avons pu évaluer du sol, d'une manière précise, indiquaient dans la direction nord-ouest (donc contre le vent) environ 3 mètres à la seconde, dans la direction Sud-Est, environ 4 mètres à la seconde, Cela répondrait à une *force de propulsion* atteinte aujourd'hui par l'aérostat de *3 m. 5 à la seconde* ou environ

12 kilom. à l'heure. Nous disons « environ » car quelque précision que l'on mette à viser d'un point, on ne peut arriver à des données *exactes*. Celles-ci seront seulement fournies par le grand appareil des quatre postes d'observations placés çà et là. Mais nous estimons que les modifications apportées à nos chiffres seront plutôt *inférieures* que supérieures. Il n'y a pas lieu de croire à une vitesse du ballon de 8 à 9 mètres, ainsi que l' « estima » quelqu'un dans un emballement enthousiaste. Avec ce chiffre de 3 m. 5, on a évalué, pour ainsi dire, d'une manière précise, la valeur ou la non-valeur pratique de cet aérostat, car *la propre vitesse du ballon* résume tout ce problème. — 3 m. 5 ne représentent malheureusement pas beaucoup. Cette vitesse ne paraît pas même suffisante, pour pousser l'aérostat d'une position déterminée en haut ou en bas. Du reste, il n'y a pas eu d'observations à relater à ce sujet. Donc, le voyage de l'avenir par ballon ne semble pas jusqu'à présent détenir *le record de la vitesse.* Le ballon Zeppelin, en se basant sur l'expérience d'aujourd'hui, mettrait environ 40 heures pour porter ma copie à Francfort... s'il ne soufflait pas de vent. Mais les vents méchants retiennent rarement leur haleine ! »

Ces trois ascensions sont les seules qu'a faites le gigantesque dirigeable. Il se prêtait d'ailleurs à un grand nombre de critiques bien fondées : le capitaine allemand Hœrnes a montré le premier que la force motrice, 32 chx seulement, était absolument insuffisante pour un engin de telles dimensions; de plus cette puissance ne paraît pas avoir été employée dans les meilleures conditions, à cause du faible diamètre des hélices propulsives et de leur trop grand nombre d'ailes. Avec cette puissance, le navire était incapable d'avancer, même contre un vent assez faible, ce qui limitait forcément son emploi utile.

La carcasse rigide, avec ses enveloppes extérieures en soie et étoffe imperméable, rendait les descentes difficiles

à accomplir sans avaries et, avec un vent fort, il était matériellement impossible de ne pas endommager certaines parties.

D'autre part. les montées et les descentes ne peuvent être opérées que par jet de lest ou par échappement de gaz, ce qui serait peu pratique pour des parcours de longue durée.

Une autre objection d'une grande importance, c'est le manque de stabilité de l'ensemble, dû à l'élévation du centre de gravité.

Enfin, les dimensions colossales (la grande longueur surtout) rendent peu pratique un semblable engin et avec un ouragan il est à présumer que les flexions longitudinales inévitables contribuent à fausser la carcasse et peut-être bien à en amener la rupture.

Une autre critique peut encore se joindre aux précédentes : c'est l'électrisation par influence, du métal léger.

Malgré les grandes difficultés éprouvées, on peut dire que ces essais ont été instructifs et ont rendu de réels services à la science de l'aérostation, en montrant la voie à suivre pour des solutions plus heureuses.

Il est à regretter que la Société du ballon Zeppelin (Société par actions à pertes) ait été dissoute quelque temps après la dernière ascension. Il fallait d'ailleurs de fortes sommes pour réaliser les modifications nécessaires l'exécution des douze ou quinze ascensions projetées.

L'hiver passé, le comte a fait échouer le hangar flottant et une nouvelle société en formation a racheté le tout à vil prix.

D'ailleurs, aucun changement ni aucun essai n'a été fait, tout a été abandonné. Nous avons trouvé dans un journal suisse du mois d'août dernier le passage suivant: « Un journal thurgovien annonce que le fameux ballon dirigeable du comte de Zeppelin est complètement démonté ; le hangar de Manzell, sur la rive orientale du

lac de Constance, où l'expérimentateur remisait son aérostat, est également démoli. Il n'y a plus sur cette rive qu'un tas de poutres et de planches pour rappeler que quelque chose de grand fut tenté en cet endroit. Vraiment, les courageux efforts du comte de Zeppelin méritaient un meilleur sort. »

Dirigeables de Santos-Dumont

Nous en arrivons enfin aux récentes expériences de M. Santos Dumont (1) qui ont contribué à l'engouement actuel de l'aéromotion.

Avant d'aborder de plein pied les essais du jeune aéronaute, essais qui sont encore présents aux yeux du lecteur, nous allons retracer les étapes successives de la lutte soutenue par M. Santos qui l'ont conduit à la conquête des cent mille francs du prix Deutsh (2).

On trouvera d'autre part un historique beaucoup plus complet, illustré d'un grand nombre de photographies, dans un numéro spécial de la *Vie au grand air*, intitulé l'Histoire des dirigeables Santos Dumont (1898-1901), sous la signature de son collaborateur, M. Emmanuel Aimé.

Sans vouloir émettre une opinion bien caractérisée sur les expériences de M. Santos Dumont et sur les résultats obtenus, tout en admirant son énergie, sa ténacité, sa crânerie même, le désintéressement dont il a fait preuve à la suite du grand prix fondé par M. H. Deutsh, nous devons reconnaître qu'avant d'arriver au résultat du

(1) M. Santos Dumont est né au Brésil le 20 juillet 1873 et pèse 52 kg. Son père, brésilien de naissance et de nationalité, est connu sous le nom de « Roi du Café », à cause de sa gigantesque exploitation, est venu faire ses études à Paris à l'Ecole centrale.

(2) La commission d'aérostation scientifique, réunie le 6 novembre 1901, a accordé à M. Santos Dumont le grand prix fondé et offert par M. Henry Deutsh (de la Meurthe).

19 octobre 1901, il a eu bien des hésitations et des tâtonnements.

Il est certain que si des études méthodiques et sérieuses avaient été faites par le jeune aéronaute, si avant ses premiers essais il s'était inspiré des travaux de ses devanciers, comme il pouvait le faire, beaucoup d'erreurs eussent été évitées. Ces erreurs, quand on les réédite, sont critiquables, tandis que souvent ce sont des traits de génie quand elles apparaissent pour la première fois.

Nous allons donc passer en revue les travaux et essais du jeune Brésilien, en décrivant d'une façon assez rapide ses premières tentatives.

Le premier *Santos-Dumont* (n° 1) fut construit en 1898 et essayé le 20 septembre de la même année au Jardin d'acclimation.

Gonflé à l'hydrogène, mais d'un volume faible, d'environ 400 mètres cubes, il était muni d'un petit moteur de Dion-Bouton de 1 ch. 3/4 qui actionnait l'hélice placée à l'arrière.

Il fut déchiré lors de la première ascension par suite d'une fausse manœuvre des aides qui tenaient les cordes à terre.

Le ballon, remis en état deux jours après, fit sa première ascension évoluant assez facilement à la demande de l'aéronaute, mais le voyage fut court par suite du débit insuffisant de la pompe à air chargée d'alimenter le ballonnet compensateur dont le volume, variable avec l'altitude, doit maintenir l'enveloppe du ballon toujours tendue.

Le ballon, devenu flasque et dépourvu d'ailleurs de quille rigide, par économie de poids, se replia latéralement sur lui-même, comme un portefeuille, sous l'inégale tension des cordes qui soutenaient la nacelle.

L'intrépide aéronaute fit une chute de 400 mètres sans aucun mal.

L'atterrissage, encore que capitonné par les mottes

fraîchement remuées du champ d'entraînement de Bagatelle, fut très dur.

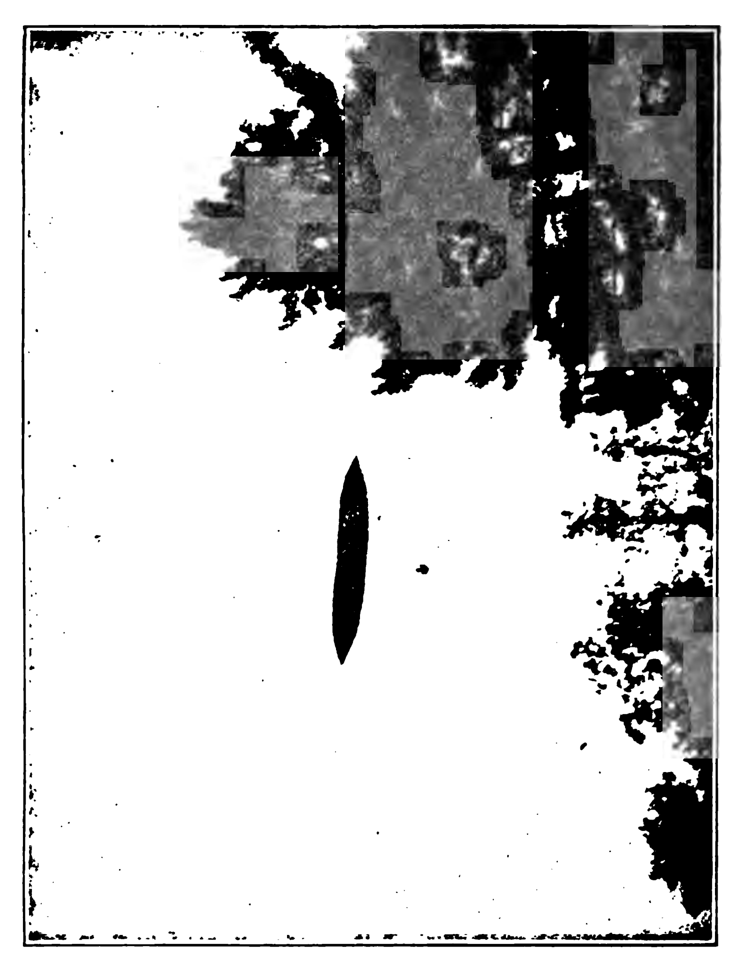


Fig. 83. — Première expérience de M. Santos-Dumont (20 septembre 1898).

« La descente, a raconté Santos-Dumont, s'effectuait à raison de 4 ou 5 mètres par seconde. Elle m'eût été fatale, si je n'avais pas eu la présence d'esprit de dire aux promeneurs spontanément pendus en grappe hu-

maine à mon guide-rope, de le tirer dans la direction opposée à celle du vent. Par cette manœuvre, j'ai diminué la vitesse de chute, évitant ainsi ce que le choc pouvait avoir de trop brutal. Et puis j'ai varié mes plaisirs ; monté en ballon, je suis descendu en cerf-volant ! »

Un second *Santos-Dumont* fut construit, toujours muni du moteur de Dion-Bouton, et l'année suivante, le 11 mai 1899, le jour de l'Ascension il en fit l'essai. Malheureusement, le ciel se brouilla, et sous la pluie, le ballon replié sur lui-même, ne put faire que des évolutions à la corde.

Malgré les difficultés de toute nature, se dressant devant sa courageuse initiative, l'aéronaute était si confiant dans l'avenir de la locomotion aérienne, qu'il affrontait gaillardement les paris engagés contre la possibilité d'atterrir en plein Paris, place de la Concorde, par exemple, où l'Automobile Club, la vaillante Société d'encouragement de la locomotion automobile, possède son hôtel et ses jardins en terrasse, à 26 mètres au-dessus du sol.

« Je fais le pari, dit un matin Santos Dumont, de partir du bois de Boulogne, avec mon ballon dirigeable, de venir place de la Concorde, et d'aborder sur la terrasse du Cercle ».

Il y eût, parmi les habitués du Procope de l'industrie automobile, un instant de vive surprise quand M. Santos fit son pari du ton naturel et délibéré qui est sûr de lui.

Le *Santos-Dumont* n° 3, fut ensuite commandé chez M. Lachambre, passage des Favorites, à Vaugirard, et le 13 novembre de la même année il faisait sa première ascension.

Ce troisième dirigeable avait 30 mètres de long il était symétrique et son diamètre au fort était de 6 m. 50. Il cubait 500 mètres. L'hélice était actionnée par 2 moteurs de Dion-Bouton de 2 chevaux 1/4.

Pour la première fois, le dirigeable contourna la Tour Eiffel.

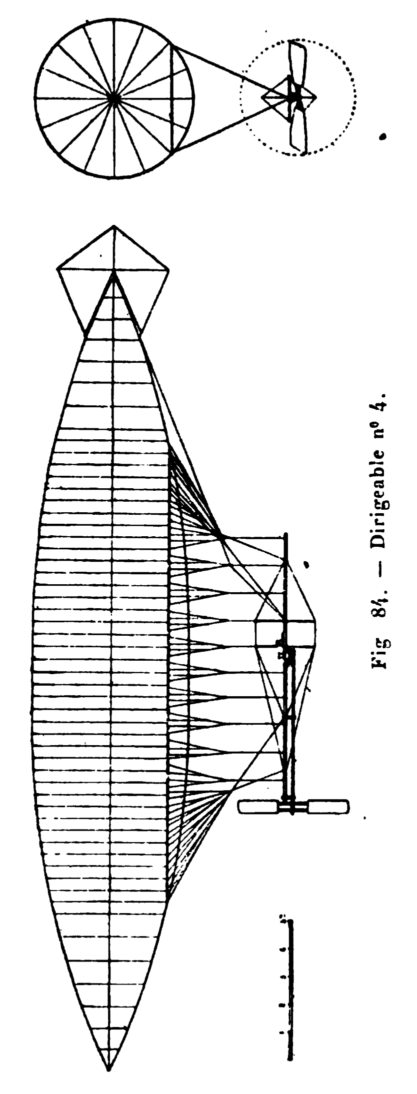


Fig 84. — Dirigeable n° 4.

Entre temps, un membre de l'Automobile-Club et de l'Aéro-Club, M. H. Deustsh, bien connu par son grand

commerce de pétrole, fondait le prix de cent mille francs dont les conditions essentielles furent alors exactement définies par la Commission d'aérostation, ainsi qu'il suit :

« Partir du parc d'Aérostation de l'Aéro-Club (1) (ou à défaut de ce parc d'un autre embarcadère désigné dans le voisinage) décrire; sans toucher terre et par les seuls moyens du bord, une courbe fermée de façon que l'axe de la Tour Eiffel soit à l'intérieur du circuit, revenir au point de départ dans le temps maximum d'une demi-heure. »

Pour effectuer les conditions imposées par le Grand Prix, M. Santos fit construire le n° 4 jaugeant 420 mètres, qui fut terminé le 1er août 1900.

Des essais presque journaliers eurent lieu et diverses tentatives se firent en présence du Congrès international d'Aéronautique, réuni le 19 septembre au parc d'aérostation de l'Aéro-Club.

Puis au commencement de 1901, ce fut le tour du *Santos-Dumont* n° 5 de 550 mètres cubes et de 34 mètres de longueur, supportant une poutre armée de 18 mètres très rigide et d'un poids d'environ 50 kilogrammes.

Du 12 juillet au 8 août, le n° 5 a fait un grand nombres d'expériences : le 12, l'aéronaute fait le tour de Longchamps, puis il a une avarie au Trocadéro, il repart, double la Tour Eiffel et rentre au Parc d'Aérostation.

Le 13 juillet, nouvelle sortie, devant la Commission réunie pour le Grand Prix; le trajet aller et retour du Parc à la Tour est effectué en 40 minutes, mais au retour survient une avarie de moteur qui est cause de la descente sur les arbres du parc de M. de Rothschild.

Remis en état, le n° 5 repart le 8 août pour doubler

(1) Ce parc se trouve situé près de la Seine, aux coteaux de Saint-Cloud, entre Suresnes et Saint-Cloud.

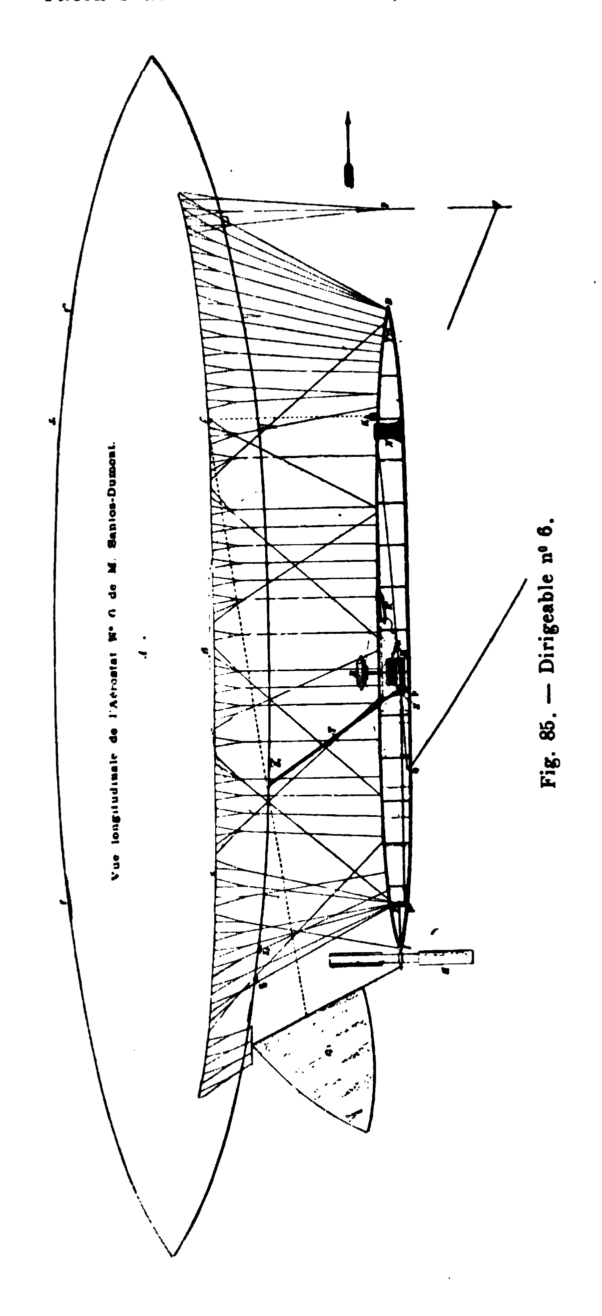


Fig. 85. — Dirigeable n° 6.

la Tour Eiffel. Au bout de 9 à 10 minutes il revient vers Saint-Cloud, mais arrivé aux fortifications, une nouvelle avarie de moteur force l'aéronaute d'arrêter le moteur, et le ballon va se briser sur les toits du Grand Hôtel du Trocadéro, rue Alboni.

Vingt-deux jours après cette retentissante catastrophe, M. Santos qui ne s'était fait aucun mal, fait construire le n° 6.

Nous allons donner quelques détails de ce n° 6 qui, heureusement pour le jeune brésilien a subi des améliorations suggérées par les expériences précédentes.

Le ballon a la forme d'un fuseau symétrique (fig. 85) de 33 mètres de longueur et 6 mètres de diamètre et dont le cube est de 600 mètres.

L'enveloppe, préparée par M. Lachambre, l'habile constructeur du Parc de Vaugirard, est en soie du Japon (Ponghée) très solide, très blanche et translucide : elle est imperméabilisée par cinq couches de vernis à l'huile de lin.

A l'intérieur et au milieu est cousu le ballonnet compensateur à air de 60 mètres cubes de capacité, alimenté par un petit ventilateur, et destiné à compenser les variations de volume et à assurer la permanence de forme.

A la partie inférieure sont trois soupapes : une pour le ballonnet, deux pour le ballon s'ouvrant automatiquement du dedans au dehors sous la pression de l'hydrogène. Leurs ressorts sont réglés de façon que la soupape du ballonnet s'ouvre la première pour donner issue à l'air et que les soupapes du ballon puissent perdre de l'hydrogène ultérieurement si cela est nécessaire.

La nacelle, le moteur, l'hélice et son arbre sont portés par une poutre armée suspendue au ballon par des fils d'acier dits cordes à pianos. Cette poutre est formée de trois perches entretoisées, elle présente en sa section transversale une forme triangulaire.

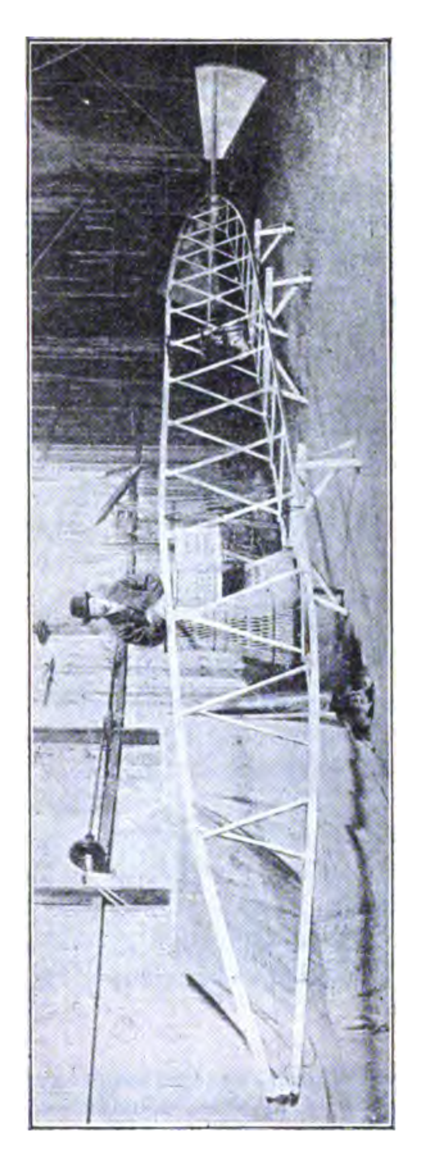


Fig. 86. — Nacelle des dirigeables nos 5 et 6.

Par cette construction simple et facile, elle permet de prendre des points d'attache sur toute la longueur et de répartir les charges des engins mécaniques.

Le moteur à essence, fourni par la maison Buchet (fig. 87) dont la puissance normale de 16 chx, pouvait à la rigueur être accrue jusqu'à 18 chx; son poids s'est augmenté par rapport au *Santos Dumont n° 5*, de celui d'un réservoir d'eau et d'un radiateur, pour le refroidissement des culasses ; les quatre cylindres qui sont à refroidissement par ailettes ont un alésage de 84 mm. et une course de 90 mm.

M. Santos renonçant au filet et à la housse a fixé ses fils de suspension en acier directement sur l'étoffe du ballon par l'intermédiaire de bâtonnets, de 15 cm. de longueur logés dans un ourlet cousu suivant une ligne voisine de la génératrice équatoriale du ballon (1).

La nacelle d'osier est encastrée dans la légère structure de la poutre armée à une distance de 3 m. 60 de l'extrémité de cette poutre ce qui augmente la distance du moteur à la place occupée par l'aéronaute. M. Santos a obtenu ainsi, avec une meilleure répartition des charges, l'inclinaison voulue de l'axe du ballon dans le sens utile à la montée, à la descente ou à l'équilibre de la masse en mouvement sous l'action de l'hélice.

Cette hélice a 4 m. de diamètre et un pas de 4 m ; une surface alaire de 2 m². Son effort dynamométrique mesuré au point fixe a été de 70 à 75 k., pour une vitesse de rotation d'environ 200 tours par minute. Le moteur tournant à une vitesse beaucoup plus grande (1200 tours environ), la réduction est obtenue par un engrenage démultiplicateur.

(1) Certains nouveaux dirigeables actuellement en construction ne comportent pas non plus de filet ni de housse. Cete disposition n'est pas exempte de critiques car la dilatation ne peut se faire librement sans occasionner des plis à l'étoffe. A notre avis une chemise à laquelle viendraient se fixer les suspentes serait préférable.

Le gouvernail, de forme triangulaire, est placé en dessous de la partie arrière et rattaché d'un côté à l'étoffe et de l'autre côté à des tendeurs en fils d'acier reliés par des ressorts en caoutchouc à une bague montée sur billes et fixée sur l'arbre de l'hélice.

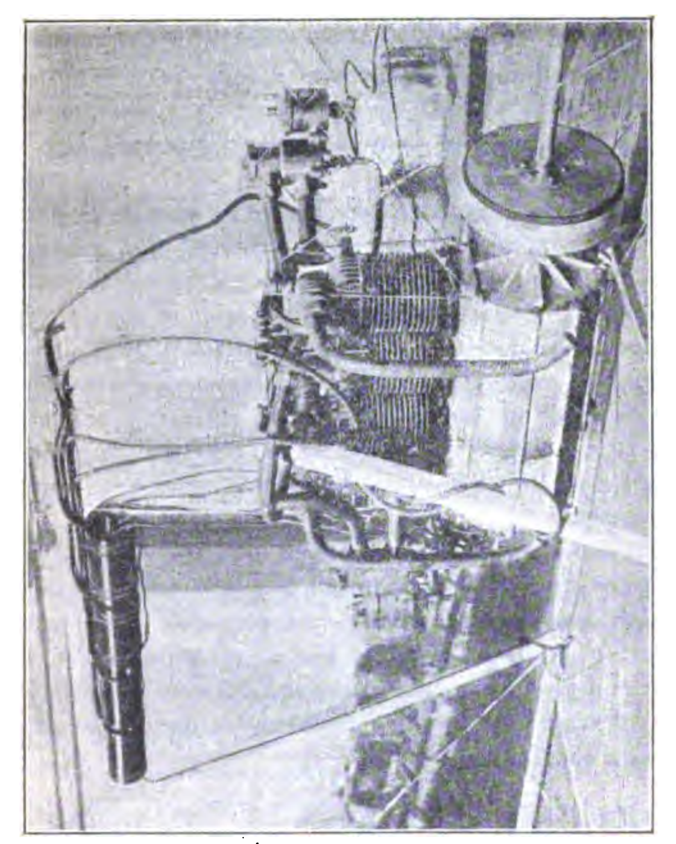


Fig. 87. — Moteurs des dirigeables nos 5 et 6.

Pour les manœuvres de mouvement vertical et d'équilibre, aussi délicates que fondamentales, l'aéronaute a fait l'économie du contre-poids mobile représenté par des sacs de lest dans ses essais antérieurs à 1901, en uti-



lisant le guide-rope relativement lourd pendu à l'avant du ballon, et le ramenant suivant le besoin par des cordelettes de rappel vers le centre de gravité du système.

Pour compléter cette description, il faut ajouter que M. Santos-Dumont paraît avoir fait pour la première fois l'application à un dirigeable d'un lest liquide. A cet effet, deux réservoirs en cuivre jaune mince, d'une contenance de 45 litres, remplis d'eau, sont placés entre le moteur et l'hélice et munis de deux robinets qui peuvent être ouverts ou fermés de la nacelle par l'intermédiaire de deux longs fils d'acier.

Il serait trop long d'entrer dans des détails de construction du moteur fourni par M. Buchet qui est suffisamment connu. Disons que le carburateur adopté est le Longuemare, mais sans vouloir déprécier le mérite de ce système, nous devons dire que sa disposition à niveau constant se prête mal à son application aux dirigeables. C'est en effet au carburateur et au graissage imparfait qu'il faut attribuer la mauvaise marche du moteur, et même les arrêts qui ont lieu dans les diverses expériences précédentes.

C'est de sa nacelle que le jeune aéronaute conduisait la marche du moteur, actionnait le gouvernail, déplaçait le guide-rope, commandait les soupapes du ballonnet et du ballon, et enfin jetait le lest au moment voulu ; on comprend que ces opérations multiples devaient l'absorber et l'empêcher de faire des mesures de vitesse ou de pression barométrique.

Sorties du n° 6. — Les premières sorties du n° 6 ne furent pas favorables à son conducteur aéronaute. Brisé sur un arbre du bois de Boulogne par une erreur de manœuvre, le n° 6 est réparé au bout de quelques jours et excursionne à nouveau à Longchamps et conduit docilement son aéronaute au restaurant de la Cascade, à plusieurs reprises. Puis quelques jours après le ballon a de

nouveau un accident : il est pris dans les arbres de la propriété de M. Ed. de Rothschild, tandis que la nacelle et l'hélice se trouvent au-dessus du petit lac. Ce n'est qu'après deux heures d'efforts qu'on parvient à dégager le ballon.

Enfin, le 19 octobre, devant la Commission d'aérostation scientifique réunie, M. Santos-Dumont exécute le voyage de la Tour Eiffel qui le fait proclamer vainqueur du Concours et gagnant du prix de cent mille francs.

La presse, qui, au fur et à mesure a fait connaître au monde entier les expériences du jeune Brésilien a raconté dans tous ses détails les principales circonstances du parcours du 19 octobre dont le succès retentissant nous dispense d'en reprendre le récit.

Néanmoins nous allons citer quelques passages du récit de cette expérience, tel que *Le Temps* l'a donné, sous la signature de M. Ch. Dulot.

Voici l'exposé de ce journal, du 21 octobre 1901 :

« M. Santos-Dumont qui était, d'après les nouvelles conditions du Concours, dans l'obligation de prévenir le Comité scientifique de l'Aéro-Club vingt-quatre heures avant chaque expérience officielle, s'était décidé, afin de pouvoir profiter de la première belle journée, à convoquer les membres du Comité régulièrement chaque jour à 2 heures.

« Le matin du 19, le soleil se leva dans cette atmosphère calme et légère que souhaitait l'intrépide aéronaute. Un souffle d'air qui maintenait très haut dans le ciel quelques rares nuages floconneux, mettait à terre tout juste un frisson dans les dernières feuilles des arbres. Toute la matinée le temps resta ainsi. Mais vers midi, la brise en se faisant plus forte, amena dans le ciel toujours plus de nuages tant et tant qu'ils masquèrent complètement le soleil.

« Pourtant, comme les nuages restaient assez haut, et que de la Tour Eiffel on téléphonait que le vent était de

4 m. 50 seulement, le jeune aéronaute se décida brusquement, ce qui est assez son habitude, à sortir son ballon. Il était alors 2 h. 20. Les membres du Comité étaient là pour la plupart : le marquis de Dion, M. Henry Deutsh, MM. de Fonvieille et G. Besançon.

« Quand, après un faux départ, le ballon eût, sans bien des difficultés, atterri : « Ça n'est rien, dit Santos Dumont. Je vais m'assurer de nouveau de mon poids et je repartirai. Tout à l'heure, je me suis abaissé comme si j'avais eu 40 kgr. de plus tout à coup. »

« On vérifie le poids ; on assure à nouveau l'équilibre de la nacelle, et pour la seconde fois, au milieu d'une ovation enthousiaste, M. Santos commande le « Lâchez tout ». Il est, au chronomètre de M. Besançon, chronométreur officiel de l'épreuve, 2 h. 44.

« A une allure stupéfiante, avec une rectitude absolue, le ballon franchit la Seine, dépasse le bois, s'élevant bientôt à une altitude qui ôte toute crainte d'un nouvel accrochage.

« Il ne perd pas la ligne de la Tour Eiffel. Cette marche enthousiasme les spectateurs massés tous dans la partie la plus élevée du parc. Cependant, voilà que le ballon fait une légère embardée qui le conduit un peu trop à gauche de la ligne droite à la Tour. Au bout de quelques secondes qui paraissent interminables, la petite tache blanche, qui se fait de plus en plus petite dans le ciel, retrouve sa vraie direction.

« Le ballon est au niveau de la Tour et il n'y a que six minutes qu'il est parti.

« Or, précisément, le petit point blanc qu'est devenu le *Santos-Dumont* s'allonge ; le ballon se présente maintenant par le travers. « Il tourne, il tourne », clament des centaines de voix. Et, en effet, le ballon se rapproche de la Tour, il l'affleure, passe devant, emporté même assez loin, à droite.

« Repoussé sans doute par le vent, le n° 6 va prendre

assez loin le virage. Enfin, cette fois, à bonne allure, il double.

« Quand on voit le mince fuseau coupé en deux par la ligne noire de la Tour Eiffel, c'est un enthousiasme bruyant, délirant. Il est 2 h. 52′ 45″. Il n'a donc fallu que 8′ 45″ pour faire la moitié du trajet, 5.500 m. environ. C'est avec une fièvre véritable que les spectateurs regardent grandir lentement, très lentement, semble-t-il, le ballon. »

Quand le *Santos-Dumont* passe au-dessus de Longchamp, il ne lui reste plus que deux minutes à peine. Mais il marche merveilleusement. Et de fait, à 3 h. 13′ 15″ il se trouve au-dessus du parc d'aérostation, en plein milieu. Il n'a mis encore que 29′ 15″. Mais il est trop haut pour qu'on puisse saisir son guide-rope, condition exigée par le règlement remanié.

Alors d'en-bas, on fait signe à l'aéronaute de s'abattre. « Déchirez votre ballon », crièrent quelques voix. Et de fait, par ce moyen, il eût moins de dix secondes pour toucher terre. Mais M. Santos Dumont fait un large virage pour s'abaisser en spirale. Quand le guide-rope est saisi par ses aides qui y ont mis cependant une grande promptitude, il y a 30′ 40′ 35‴ que le départ a eu lieu.

Fig. 88. — Ascension du 19 octobre 1901. — Parcours d'après M. Armengaud.

Nous ne voulons pas rentrer dans les polémiques auxquelles a donné lieu l'épreuve dont les péripéties viennent d'être signalées.

La décision de la Commission scientifique de l'Aéro-Club, si bien présidée par M. Roland-Bonaparte et dans laquelle les membres de l'Académie des sciences ont joué le rôle prépondérant, a été un véritable soulagement pour tous ceux qui, se plaçant au-dessus des minutes d'un règlement d'ailleurs modifié après coup, ont vu le but atteint et ont admiré la persévérance et le courage de M. Santos Dumont.

Détermination de la vitesse. — Ce n'est pas ici le lieu de rappeler les discussions qui se sont élevées sur la question de savoir si M. Santos Dumont avait oui ou non rempli les conditions du concours, légèrement modifiées par la Commission d'aérostation. En tous les cas, au dernier voyage aérien, les conditions ont été remplies dans l'ensemble. Le point capital est de rechercher la vitesse propre dont a pu disposer le ballon, c'est-à-dire la vitesse qu'il aurait en air calme.

L'expérience n'ayant duré qu'une demi-heure, le vent n'a pas dû beaucoup changer en vitesse et en direction. D'après les mesures données par les aéromètres de la Tour Eiffel, cette vitesse a varié entre 4 m. 50 et 5 m., aux altitudes de 150 et 300 m.

M. Armengaud jeune a présenté à la Société des Ingénieurs civils, lors de sa conférence (1) sur les *Progrès de la navigation aérienne et les expériences de M. Santos Dumont*, trois méthodes qui ont permis d'établir, avec une approximation qui lui paraît très acceptable, que la vitesse propre n'a pas été inférieure à 8 m. 50.

Nous n'analyserons pas ces trois méthodes : *arithmétique*, *graphique* et *algébrique*, dont la seconde, la méthode graphique ou géométrique, a fait l'objet d'une communication (2) à l'Académie des sciences ; mais M. Armengaud discute ainsi les résultats :

(1) Conférence du 22 novembre 1901, parue dans le *Bulletin* de décembre.

(2) Communication faite le 23 novembre et suivie d'une seconde le 9 décembre 1901.

1° Arithmétiquement, par un calcul numérique des plus simples, en comptant les distances mesurées sur la carte, et en prenant les temps du passage de l'aérostat à différents points du parcours, on trouve que la vitesse réelle de l'aérostat projeté sur le sol a varié entre 13 m. 60 pour l'aller et 4 m. 46 pour le retour, que ces mesures soient prises sur des portions ou sur l'ensemble du parcours. Il en résulte qu'en supposant que la vitesse du vent a oscillé entre 4 m. 50 et 5 m. 50, mesures prises à différentes hauteurs aux anémomètres de la Tour Eiffel, la vitesse relative de l'aérostat dans le courant d'air, c'est-à-dire sa vitesse propre, celle qu'il aurait en air calme, a nécessairement atteint une valeur entre 8 m. et 9 m.

On arrive au même résultat en faisant le calcul comme pour les bateaux, ce qui donne une moyenne éliminant la vitesse du courant, supposée constante, pendant le trajet. Mais, dans la réalité, la vitesse propre de l'aérostat dans l'air a toujours été plus grande, puisqu'il a marché avec un certain tangage qui l'inclinait sur l'horizon.

2° Géométriquement, par une méthode graphique, on vérifie les résultats qui précèdent, en étudiant la projection sur le sol de la trajectoire de l'aérostat qui a pu être tracée avec assez d'exactitude, en s'aidant des renseignements puisés près des personnes qui se sont trouvées échelonnées sur le parcours et ont noté l'heure du passage du ballon au zénith au-dessus de leur tête.

3° Algébriquement, M. Armengaud a étudié la marche de l'aérostat de M. Santos Dumont, en ayant recours d'abord aux formules données par M. le colonel Renard. Pour cela, il a admis que le moteur à quatre cylindres, construit par M. Buchet, et installé sur la poutre armée de l'aérostat de M. Santos Dumont, avait fourni une puissance variant de 16 à 20 ch., selon que la carburation par le carburateur à niveau constant a pu se faire plus ou moins régulièrement, et il a supposé que la force de

propulsion de l'hélice était de 70 kg. Dans ce cas, il a trouvé pour la vitesse propre environ 10 mètres.

En appliquant les équations de M. Duroy de Bruignac, on trouve pour la vitesse propre théorique du *Santos-Dumont* 9 m. 3.

La concordance de tous ces résultats et calculs permet à M. Armengaud d'assurer d'une façon catégorique que la vitesse propre obtenue par M. Santos Dumont a certainement atteint 8 m. 50.

Sans vouloir nous permettre d'apprécier les trois méthodes de M. Armengaud, il est certainement difficile de pouvoir assurer que la vitesse moyenne du dirigeable a été de 8 m. 50 par seconde.

En effet, pour qu'on puisse déduire sa vitesse de celle du vent, il est indispensable que les différentes vitesses du vent aient été mesurées dans les différentes couches dans lesquelles le ballon a été immergé. Or, aucune de ces mesures n'a pu être prise, l'aéronaute n'ayant pas eu le loisir de faire la moindre observation, d'abord, parce que les manœuvres qu'il avait à faire étaient nombreuses et qu'il n'avait emporté aucun appareil enregistreur.

D'après l'avis d'un certain nombre de personnes compétentes, cette vitesse n'aurait pas été supérieure à 7 mètres.

En résumé, on serait mal fondé si l'on soutenait que le dirigeable de M. Santos a réalisé un progrès sur les résultats antérieurs.

Examinons s'il y a eu progrès réel à la science, ou plutôt à la technique du ballon dirigeable.

Si nous comparons le *Santos-Dumont* n° 6 au ballon *La France*, de Châlais, nous remarquons que le n° 6 était plus petit et visait à une vitesse plus grande : les grands progrès des moteurs à pétrole, dans ces dernières années, ont fait baisser le poids du cheval dans la proportion d'au moins 8 à 1. Or, à stabilité égale, la puissance motrice est proportionnelle au cube de la vitesse ; donc, en remplaçant l'ancien moteur de *La France* par un des

nouveaux moteurs de poids égal, pris dans le commerce, et en modifiant le couple stabilisateur, eu égard au changement apporté dans la vitesse, on aurait obtenu une vitesse d'au moins 6,50 $\sqrt[3]{8} = 13$ m. Voilà où en était le problème avant M. Santos Dumont.

Quant à la valeur nautique du *Santos-Dumont* n° 6, elle est certainement en recul appréciable sur ce qu'il était immédiatement possible de faire en 1901 : le ballon *La France* (en 1884) avait été étudié avec un soin minutieux, et la stabilité longitudinale, la stabilité de route, les résistances diverses, toutes ces questions avaient été revues, de fond en comble, avant les premières expériences.

Toutefois, ces critiques faites, il faut reconnaître que M. Santos Dumont a fait preuve d'une grande énergie ; on ne peut aussi qu'admirer son audace, sa ténacité et le désintéressement qui a suivi le concours organisé pour le Grand Prix de cent mille francs.

D'autre part, il est le premier qui ait appliqué le moteur à explosion à un dirigeable ; il a montré le chemin dans lequel on pouvait s'engager et donné une impulsion à une nouvelle industrie qui sera celle de la locomotion aérienne.

En d'autres termes, il aura eu le mérite, et une bonne part en revient à M. Deutsh, d'avoir fait sortir de l'ombre et du silence où elle paraissait plongée en France, la question de la direction des ballons.

En même temps qu'il a provoqué la générosité des Mécènes, il a réveillé « d'un sommeil de 16 ans (comme l'a dit M. Armengaud) la solution pratique indiquée par les officiers de Châlais et donné l'essor à la navigation aérienne qui sera certainement une des manifestations les plus séduisantes de l'activité humaine ».

Projet du « Santos-Dumont » n° 7. — Le vaillant jeune aéronaute, ayant remarqué que son n° 6 laissait à dési-

rer à tous les points de vue, fait construire en ce moment un dirigeable n° 7.

Ce nouveau ballon, en forme de fuseau symétrique, aura, paraît-il, 50 mètres de longueur et 7 mètres de diamètre au maître-couple ; il cubera environ 1.200 mètres. Deux hélices, dont une à l'avant et l'autre à l'arrière, seront commandées chacune par un moteur à pétrole de 45 chevaux.

Avec ces éléments, il espère, et le calcul l'y autorise, pouvoir disposer d'une vitesse propre de 12 mètres qui lui permettra — d'après ses dires — de lutter contre un vent de 9 à 10 mètres au moins.

Le lecteur joindra certainement ses vœux aux nôtres pour que le hardi aéronaute triomphe dans sa nouvelle entreprise.

Dirigeable aviateur Roze

Après deux années d'un travail assidu, un ingénieur, M. Roze, entraîné par intuition vers le problème de la locomotion aérienne, fit construire à Colombes un aviateur qui fut expérimenté en septembre 1901, au moment des expériences de Santos-Dumont.

Le but que M. Roze s'était proposé consistait à l'exécution d'un appareil satisfaisant à tous les besoins et pouvant donner une sécurité complète en préservant les voyageurs et les organes moteurs de tous dangers pendant les parcours qu'ils pouvaient accomplir.

M. Roze s'exprimait ainsi dans l'*Aérophile* de juin 1901 :

« En construisant un appareil avec deux ballons accouplés, je supprime les inconvénients du ballon à un seul corps. Aucun tangage ni roulis ne peut plus être produit par les hélices, ni en traction, ni en torsion. Entre deux ballons accouplés, il est facile de grouper tout ce que l'on veut (parachute, nacelle et machine), et

surtout obtenir, ce qui est le point capital, la poussée des hélices au centre de la masse, chose irréalisable avec un seul ballon sous lequel sont suspendus, par des cordages, la nacelle et les divers agrès, toujours susceptibles d'être détériorés.

« La chose n'était pas facile ; il fallait une persévérance à toute épreuve et à la hauteur de la tâche à accomplir pour :

« 1° Faire une construction à la fois légère et rigide rendant les deux ballons indéformables et ne pouvant se disloquer dans aucune circonstance ;

« 2° Trouver le moyen d'attacher la soie sur la carcasse des deux ballons ;

« 3° Faire que cette soie fût fixée intérieurement à chaque traverse et à chaque cercle pour donner la solidité voulue et supprimer le filet ;

« 4° Trouver le moyen de fermer les ballons d'une manière étanche ;

« 5° Diviser les ballons en compartiments étanches pour éviter que le gaz ne se précipite rapidement de l'une à l'autre pointe, au moindre déplacement d'un poids quelconque ;

« 6° Faire communiquer les deux ballons ensemble afin que le gaz passant de l'un à l'autre puisse se répartir dans tous les compartiments ;

« 7° Trouver le moyen d'enlever l'air contenu dans une enveloppe rigide, sans écraser ou déformer cette enveloppe ;

« 8° Permettre la dilatation ou la condensation du gaz sans que le gaz puisse s'échapper de l'appareil et se répandre au dehors ;

« 9° Obtenir que cette condensation et dilatation se fasse automatiquement.

« Ces conditions réalisées, il fallait encore pouvoir rétablir l'horizontalité parfaite en cours de marche, équilibrer et incliner l'appareil d'avant en arrière ou de

droite à gauche sans se servir de contrepoids, et enfin trouver un parachute empêchant une descente rapide et agissant automatiquement en cas d'accident.

« Je crois avoir admirablement résolu toutes ces difficultés, mais au prix de quels efforts ! »

Décrivons un peu l'aviateur dont la construction a été faite à Colombes en 1900 et 1901.

Cet aviateur est formé de deux fuseaux de 45 mètres de longueur, dont chaque carcasse est constituée par une série de cercles de diamètres différents, en tube d'aluminium. Des traverses longitudinales relient ces cercles et forment un tout rigide en même temps que léger par rapport aux dimensions. D'ailleurs l'ossature ne sert qu'à maintenir la soie et à en assurer la rigidité.

Pour plus de sécurité et de solidité, chaque fuseau est divisé en six compartiments étanches séparés entre eux par cinq cloisons. Les deux ballons sont reliés par six tubes de cinq mètres de longueur qui ont pour objet de les faire communiquer entre eux ; de cette façon, la pression du gaz est sensiblement la même dans les deux fuseaux.

La nacelle, placée entre les deux ballons, est suspendue par quatorze tendeurs en tubes d'aluminium ; une série de tendeurs et d'entretoises passent au-dessous et sont raccordés à d'autres tendeurs qui empêchent l'écartement des deux ballons.

Afin que l'atterrissage ne produise qu'un faible choc et que les ballons ne puissent toucher le sol, l'ensemble est muni de six pieds à roues caoutchoutées et à ressorts à boudin.

La nacelle a 12 mètres de longueur et deux étages. Elle est très effilée afin de diminuer les résistances à l'avancement. Elle a la forme d'un élégant bateau ponté dont le centre est un coquet salon, laissant à la pointe avant la place du capitaine qui commande toute la ma-[illegible] des cinq gouvernails.

Le pont, sur lequel on accède par deux légères échelles, supporte les machines et les arbres des quatre hélices, dont deux servent à la montée (hélices ascension-



Fig. 89. — L'aviateur Roze sortant du hangar.

nelles) et les deux autres à la propulsion. Ces dernières sont placées une à l'avant et l'autre à l'arrière.

La direction est obtenue par un gouvernail vertical placé directement après l'hélice arrière. Quatre autres gouvernails horizontaux fonctionnent indépendamment les uns des autres, peuvent faire relever ou baisser une partie de l'appareil pour maintenir l'équilibre dans le cas où il viendrait à être détruit pour une cause quelconque.

Le pont de la nacelle est recouvert d'une bâche élégante où se tient le mécanicien pour surveiller ses moteurs.

Entre les deux ballons, et à une certaine hauteur, est disposé un cadre fixe de 12 mètres de longueur et 4 mètres de largeur qui maintient douze autres cadres mobiles sur lesquels sont fixées des bandes de soie de 1 m. 10 de largeur.

L'ensemble forme une sorte de persienne commandée de la nacelle par des poulies et qui doit même fonctionner automatiquement en s'inclinant d'un certain angle pendant la marche.

En cas d'avarie à la machine, toutes ces persiennes peuvent se coller au cadre supérieur et former une surface plane de 80 m², surface qui permet à l'aviateur de planer ou de descendre lentement.

Lorsque les hélices ascensionnelles ont fait monter l'appareil à une hauteur suffisante, toute la force du moteur est alors utilisée à donner la rotation aux hélices propulsives. A la descente, les premières hélices peuvent de nouveau donner leur efficacité.

L'inventeur assure qu'en aucun cas la descente ne peut se faire rapidement, surtout verticalement, l'appareil possédant des dispositifs pour faire parachute.

Les hélices sont actionnées par un moteur à pétrole, type Buchet, de 20 chevaux : les quatre sustentatrices tournent à 250 tours, tandis que les deux propulsives tournent à 300 tours. Ces hélices ont 3 m. 10 de diamètre et un pas de 5 mètres.

Tout l'ensemble de l'aviateur pèse 2.500 kg. et le cube des deux ballons est de 2.800 mètres. Gonflé à l'hydro-

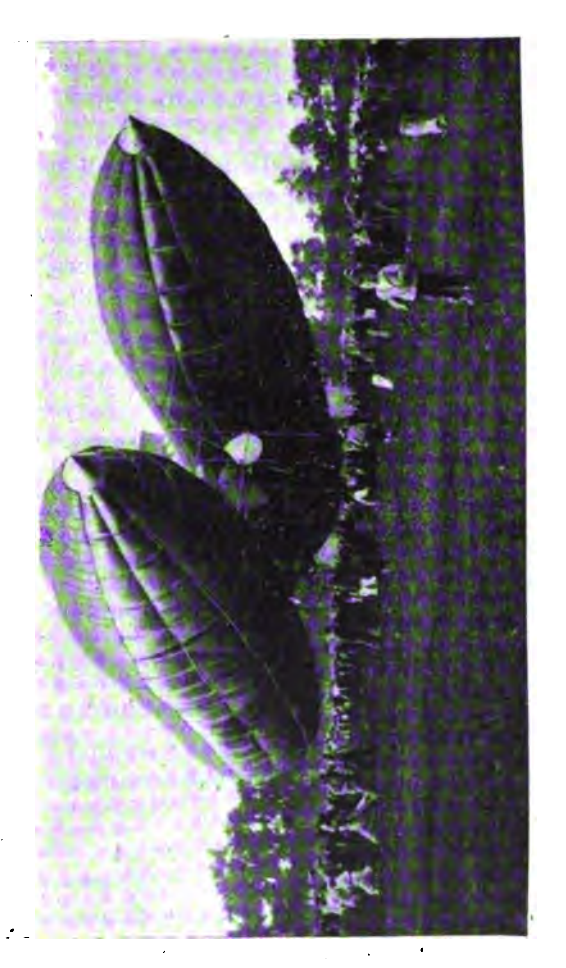


Fig. 90. — Essai de l'aviateur (6 sept. 1901).

gène, l'appareil étant plus lourd que l'air de 70 à 80 kg., est enlevé par les hélices ascensionnelles qui sont arrêtées à un moment donné pour que la rotation des hélices propulsives ait lieu.

Une provision d'eau, de 50 à 60 kg., sert en même temps de lest.

Enfin, l'appareil peut descendre sur l'eau ; les fuseaux ayant leur enveloppe inférieure imperméabilisée et tendue sur les traverses et les cercles, le font flotter à la surface. Tout a été prévu pour établir un véritable *navire aérien*.

Les premiers essais du dirigeable-aviateur ont eu lieu à Colombes les 5 et 6 septembre 1901.

N'ayant aucune force ascensionnelle au départ, au contraire, puisque volontairement l'équilibre était détruit par une surcharge de 200 kg., les hélices ascensionnelles enlevèrent tout l'ensemble à environ 15 mètres. Mais M. Roze estimant que l'équilibre n'était pas suffisant fit interrompre les expériences et l'aviateur rentra au hangar, où il doit y être encore.

Quoique étant bien construit, quoique le principe de l'application du centre de propulsion à peu près au milieu du centre de résistance ait été suivi, quoique certains détails soient exempts de critiques, nous sommes persuadés que l'aviateur n'aurait pu donner les résultats qu'on en attendait.

L'inventeur ne s'est sans doute pas rendu compte que deux ballons placés tels qu'ils sont, avec une certaine distance entre eux (distance qui a permis de placer moteur et propulseurs), déterminent une énorme résistance à l'avancement.

Car, il faut non seulement compter comme surface la somme des deux maître-couples, mais aussi il faut ajouter toute la partie située entre les deux fuseaux, où se trouvent la nacelle, les hélices, les sortes de plans à persiennes, les tubes entretoisés, etc., etc. Cette partie offre au moins autant de résistance que si elle était pleine. Et cela se voit dès qu'on examine l'aviateur. En effet, si nous admettons que chaque maître-couple soit de 50 m^2, correspondant à 8 mètres de diamètre, nous avons déja

100 m^2, auxquels il faut ajouter la partie située entre les deux fuseaux qui est au moins 50 m^2. Le total donne une surface de 150 m^2 ?

D'autre part, les hélices propulsives ont été construites beaucoup trop petites, en diamètre, et leur nombre de tours (300) est trop élevé. Leur rendement doit être médiocre : nous pouvons nous en rendre compte en consultant le chapitre de ce volume qui traite de la propulsion.

L'hélice du dirigeable de Dupuy de Lôme avait 9 mètres et le maître-couple du ballon 172 m^2 ; celle du dirigeable *La France* avait 7 mètres pour un maître-couple de 55 m^2 4. Les deux hélices de l'aviateur ont 3 m. 10. La différence est énorme.

Enfin, pendant la marche, les quatre hélices ascensionnelles ne servant pas, ne peuvent qu'être nuisibles à l'avancement.

Il existe encore d'autres détails moins importants qui tendent à augmenter les résistances ; mais le principal a été énoncé.

Nous ne croyons donc pas qu'avec un moteur de 20 chevaux, on eût pu atteindre seulement la vitesse de 4 mètres par seconde.

Quoi qu'il en soit, l'aviateur Roze a demandé à son inventeur une somme d'efforts et de travaux dont il est difficile de se faire une idée.

Si le résultat n'a pas été appréciable — peut-être le deviendra-t-il — il n'en est pas moins vrai que son constructeur a le mérite d'avoir travaillé pour la grande cause, pour la réalisation du grand problème.

Il est juste de rendre hommage à M. Roze, à ses collaborateurs, et la science n'oubliera pas la grandeur des efforts qui ont été faits par l'ingénieur.

Dirigeable de M. Sévero d'Albuquerque

Le Brésil paraît décidément vouloir conquérir l'atmosphère, car après les expériences de M. Santos Dumont, un autre Brésilien, M. Augusto Sévero a fait construire ces temps derniers chez M. Lachambre, au Parc Aérostatique de Vaugirard, un dirigeable de son invention, dont le premier essai a coûté la vie à son inventeur ainsi qu'à son mécanicien (1).

(1) On se souvient encore de la catastrophe arrivée le 13 mai dernier vers 6 heures du matin : l'explosion, à 3 ou 400 mètres de hauteur du dirigeable *Pax* et la chute terrible d'une masse de 1400 à 1500 kg. dans l'avenue du Maine, causant la mort des deux infortunés qui montaient le ballon.

Parti vers 5 heures 1/2 du parc aérostatique de Vaugirard, le *Pax* faisait plusieurs évolutions, mais ne put maintenir sa marche suivant le désir de son inventeur, l'hélice à l'arrière fonctionnant mal, et les hélices directrices n'étant sans doute pas suffisamment efficaces. Le vent devenait son maître et le ballon fut entraîné à la dérive. Quelques minutes après, une lueur intense se produisit : le ballon parut tout en flammes, puis on entendit une détonation violente et la masse vint s'abattre avec une vitesse effrayante en travers de l'avenue du Maine, barrant complètement la voie. Parmi les débris, deux corps gisaient sans mouvement : ceux de Sévero et de son mécanicien, Saché.

Les causes de ce terrible accident sont assez difficiles à établir, toutefois deux hypothèses peuvent être admises. La première peut s'expliquer ainsi : sous l'influence de la dilatation par suite de la force ascensionnelle et de la hauteur, le gaz hydrogène sortant avec pression par la soupape placée assez près du moteur a pu s'enflammer au contact de l'échappement et communiquer le feu au réservoir d'essence et de là au ballon. La seconde version est celle-ci : la transmission de l'hélice arrière fonctionnant mal a pu échauffer un coussinet situé dans la partie triangulaire vide et provoquer l'inflammation du gaz.

D'autre part, il faut avouer que l'inventeur était peu exercé à l'aérostation et manquait de connaissances pratiques : il était au moins très imprudent de vouloir tenter la direction d'un ballon tel que le *Pax* sans avoir, au préalable, fait une série d'essais suffisants pour donner une certaine garantie à son aéronaute conducteur.

Quoi qu'il en soit, les deux noms de Sévero et de Saché resteront gravés sur le livre d'or de l'aérostation, et la science aéronautique n'oubliera pas d'enregistrer deux victimes mortes au champ d'honneur.

Le dirigeable dont il s'agit, représenté par la figure est de forme dissymétrique : il a 30 mètres de longueur

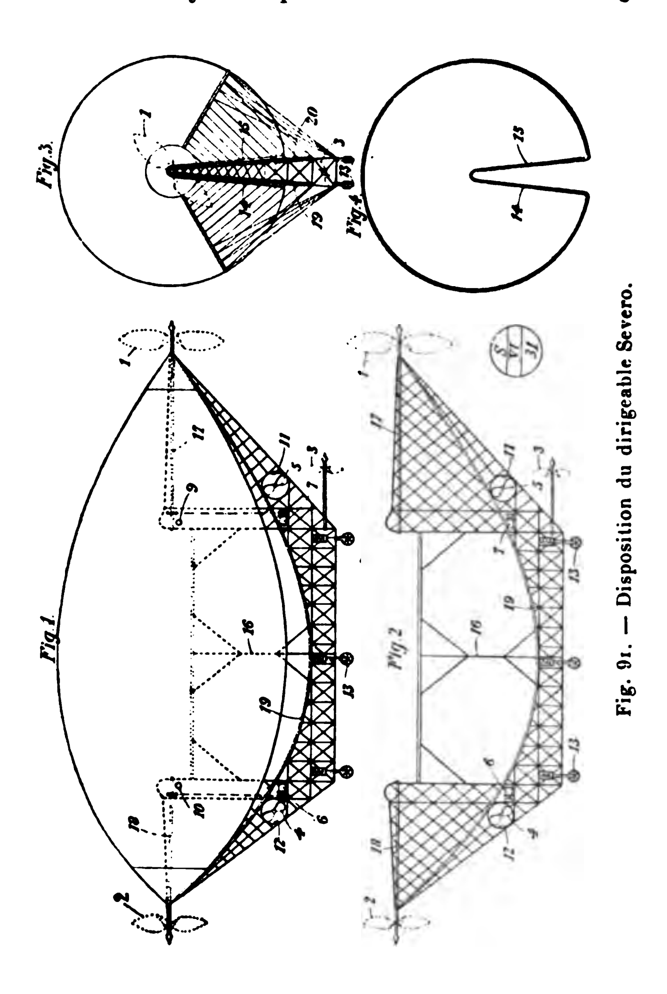


Fig. 91. — Disposition du dirigeable Severo.

et 12 mètres de diamètre, au fort. Il cube 2.000 mètres et sa force ascensionnelle atteint donc 2.200 kilogrammes environ.

Le principe appliqué par le nouvel aéronaute n'a pu obtenu la sanction de l'expérience, quoique très ration-

nel : M. Sévero s'étant surtout attaché à avoir une trajectoire droite, c'est-à-dire à supprimer autant que possible les déviations longitudinales ou tangage.

Le ballon de M. Sévero présente des particularités différentes de ses devanciers : c'est d'abord la nacelle qui tient le ballon, et non pas comme dans tous les essais précédents dans lesquels le ballon soutenait la nacelle.

Puis la disposition des hélices propulsives au centre de traction, et enfin la suppression du gouvernail, remplacé par 2 paires de petites hélices devant provoquer la direction.

Examinons ces dispositifs nouveaux qui n'ont pas encore, comme nous le disions précédemment, reçu de consécration pratique.

La nacelle est constituée par une longue poutre armée quadrangulaire en bambou, sensiblement de même longueur que le ballon et surmontée à chacune de ses extrémités par une sorte de tourelle qui pénètre entre les parois de l'enveloppe du ballon, jusqu'au grand axe de celui-ci. C'est précisément ce dispositif spécial qui permet de placer les hélices motrices non plus au-dessous, à la nacelle, mais à l'extrémité du grand axe de l'aérostat.

De la sorte, le centre de résistance et le centre de propulsion se trouvent très rapprochés et même peuvent coïncider. Il est bien certain que cette disposition est très heureuse et très rationnelle, elle tend à supprimer les effets du tangage.

Ces hélices sont construites d'une façon spéciale ; celle d'avant a ses deux ailes d'une forme étudiée en vue de chasser l'air suivant une courbe déterminée ou de faire une trouée pour faciliter le passage du ballon : elle a 5 mètres de diamètre : celle d'arrière, d'un diamètre de 6 mètres et d'un pas de 5 mètres, doit plutôt servir à la propulsion proprement dite.

La nacelle est munie à l'arrière d'une autre hélice dite compensatrice, de 3 m. 50 de diamètre, destinée à

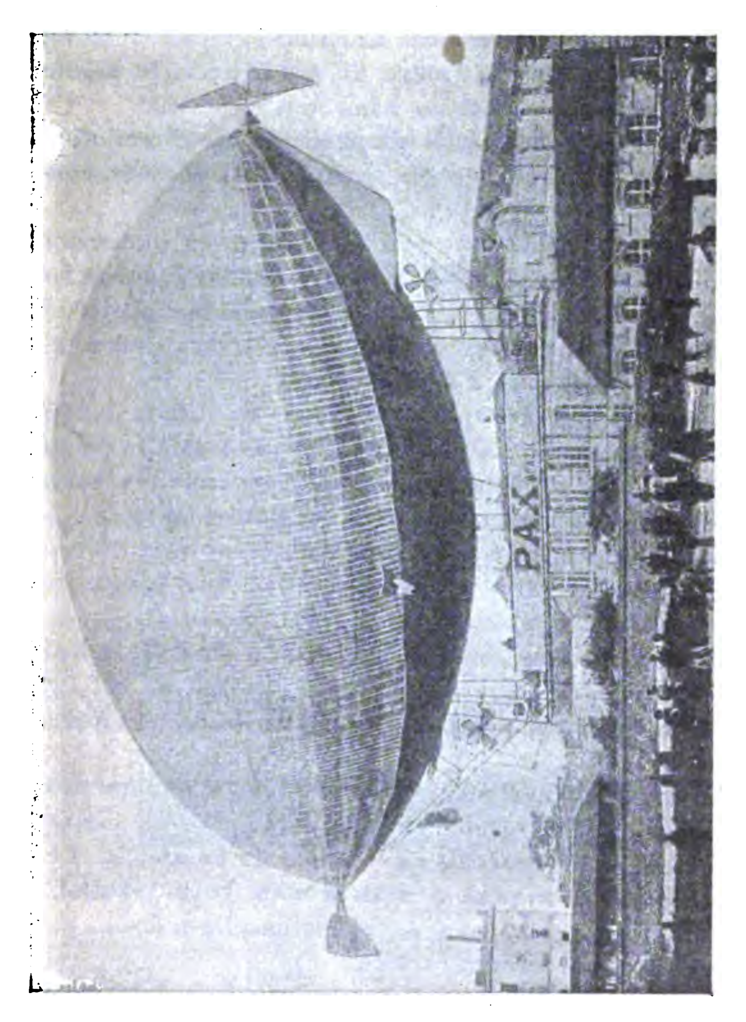


Fig. 92. — Dirigeable de M. Sévero.

corriger les inclinaisons qui pourraient se produire, et qui peut être utilisée pour équilibrer l'aérostat dans l'atmosphère.

Les deux autres paires d'hélices sont destinées à la direction : elles tournent dans des tubes disposés perpendiculairement au grand axe du système, l'un vers l'avant, l'autre vers l'arrière de la nacelle. Selon qu'on fera tourner l'une ou l'autre de ces hélices, le ballon s'orientera dans un sens ou dans l'autre.

Pour obtenir de grands changements de direction il suffira de faire tourner ces deux hélices en sens contraire.

La force motrice sera produite par deux moteurs à essence, type Buchet, l'un de 24 chevaux, actionnant les trois hélices d'arrière (la propulsive, la compensatrice et le groupe de direction) ; l'autre de 16 chevaux commandant les deux hélices d'avant.

Faisons remarquer que les hélices de direction forment chacune un groupe de deux montées sur un même arbre et dont les ailettes sont perpendiculaires entre elles. L'ensemble comprend donc en tout 7 hélices.

Nous avons eu le plaisir, à différentes reprises de voir le dirigeable « Pax », ainsi appelé, dans son hangar, et de causer avec l'inventeur M. Sévero, qui n'était pas un nouveau venu dans le monde de l'aérostation. Il travaillait ces intéressantes questions depuis plus de 20 ans, et avait déjà fait des essais en 1894 à Rio Grande du Nord, au Brésil.

A cette époque, il avait fait construire le *Bartholoméo de Gusmao*, un dirigeable qui mesurait près de 60 mètres de longueur, et possédait une nacelle de 52 mètres. Les premiers essais avaient donnés d'assez bons résultats, mais à la suite d'un essai décisif, la nacelle se brisa par suite d'un vice de construction.

C'est alors qu'il entreprit les études et la construction de ce nouveau dirigeable (1) dont la première espérience fit malheureusement deux victimes.

(1) Le député du Brésil y dépensa presque toute sa fortune, environ 160.000 fr.

Toutefois il faut reconnaître que la position des hélices, quoique très rationnelle donnait lieu à bien des complications : la fixation des paliers devenait difficultueuse et l'attaque par le moteur conduisait à employer

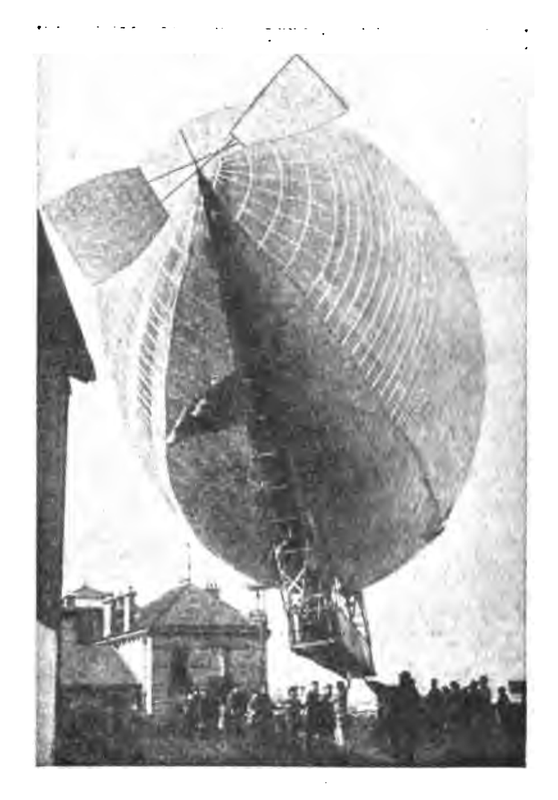


Fig. 93. – Dirigeable Sévero vu à l'arrière.

des engrenages coniques, des arbres assez longs, dont les coussinets, malgré leur position bien étudiée ne pouvaient que déterminer des frottements plus ou moins grands suivant le flambement ou le gauchissement inévitable de la nacelle.

On peut très bien s'en convaincre par la figure 91 dont

une des vues représente la nacelle avec ses arbres et ses hélices.

De plus, par suite du peu de largeur de la base de cette nacelle et du grand bras de levier formé par la distance de cette base au centre de traction (plus de 7 mètres), à l'atterrissage, si faible que soit le vent, il se produira un couple de renversement d'autant plus grand qu'il est peu admissible que la nacelle repose sur un emplacement horizontal.

Quoiqu'il en soit les intéressants travaux de l'aéronaute, député du Brésil, méritent une grande attention et la science aéronautique a perdu en M. Sévero un fervent de la direction aérienne victime de son dévouement.

Dirigeable de M. H. Deutsh (de la Meurthe)

Les visiteurs de la brillante Exposition de l'Automobile et du Cycle, qui a eu lieu en décembre dernier au grand Palais des Champs-Elysées, ont pu voir suspendu en dessous de l'immense coupole, et à 10 mètres du sol, un grand navire aérien : la *Ville de Paris*, construit pour M. Henry Deutsh, le généreux donateur du Grand Prix de cent mille francs, par un ingénieur bien connu dans le monde aérostatique, M. Victor Tatin.

M. Tatin n'est pas un nouveau dans la locomotion aérienne : c'est surtout un aviateur.

En effet, l'ingénieur qui a fait de savantes études sur le vol des oiseaux avec le professeur Marey de l'Institut, a déjà expérimenté à Meudon, en 1879, un modèle d'aéroplane qui a donné d'assez bons résultats. En juin 1897, dans une autre expérience faite à Carqueiranne, en collaboration avec M. Ch. Richet, les deux expérimentateurs firent parcourir à leur appareil 140 mètres en ligne droite avec une vitesse de 18 mètres par seconde, avant de tomber à la mer.

« Assurément notre expérience (1), ont dit MM. Tatin et Richet, si intéressante qu'elle soit, n'est pas un succès ni même un demi-succès, et nous ne nous faisons aucune illusion sur le caractère rudimentaire d'une pareille tentative. Pourtant elle a cet avantage d'être, au moins au point de vue du poids et de la vitesse, supérieure aux expériences diverses qui ont été réalisées jusqu'ici...

« Quant à l'avenir de ces machines, il est impossible à prévoir... ».

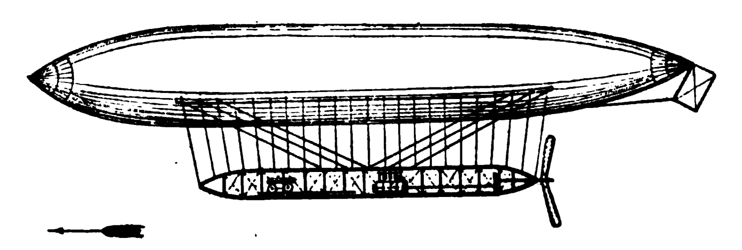


Fig. 94. — Dirigeable de M. Henri Deutsh.

M. H. Deutsh ne pouvait donc mieux tomber que de s'adresser à l'ingénieux aviateur pour la construction de son dirigeable.

Ce dirigeable, qui est actuellement terminé dans son hangar du Parc de l'Aéro-Club, à Saint-Cloud, mesure 60 mètres de longueur (2) et 8 mètres de diamètre. Son cube est de 2.000 mètres. En dessous du ballon légèrement dissymétrique et à 3 mètres, se trouve la nacelle, longue de 30 mètres, de forme quadrangulaire, dont la hauteur est de 2 mètres et la largeur de 1 m. 30 (fig. 94).

Elle est composée de quatre longerons en sapin dont

(1) *Revue scientifique* de juillet 1897 (M. Ch. Richet directeur).

(2) L'allongement est donc plus de 7 fois le diamètre. Nous avons dit dans le chapitre II (2e partie) ce que nous pensions à ce sujet. Nous estimons que cet allongement est trop grand et ne peut que nuire à la bonne tenue du dirigeable.

les extrémités formant pointe sont réunies par une pièce en aluminium : à l'arrière cette pièce a une forme spéciale et porte un coussinet en bronze dans lequel l'arbre de l'hélice peut tourner librement. Ces longerons sont reliés par des traverses en bois, de distance en distance, et la forme quadrangulaire est conservée par des tendeurs en fil d'acier.

Un petit chariot lesteur placé sur rails, à l'avant de la nacelle, permet à volonté de déplacer le centre de gravité et a pour objet d'empêcher le tangage.

Cette nacelle, très bien étudiée et construite avec méthode, porte un moteur de 60 chevaux de la Société Mors, qui, essayé au frein, a donné 53 chevaux à la vitesse de 900 tours. C'est le premier type de moteur construit spécialement en vue de la légèreté nécessaire à son application, et la Société Mors continue dans cette voie, car elle a en commande un moteur de 100 chevaux extrêmement léger, destiné aux Etablissements d'aérostation militaire de Châlais-Meudon.

Ce moteur, dont l'emplacement, par rapport à l'avant ou à l'arrière de la nacelle a été déterminé par le calcul, possède un volant léger et un embrayage attaquant l'arbre en tube d'acier, soutenu par des paliers à billes jusqu'à l'engrenage de réduction de vitesse qui est distant de l'extrémité arrière de la nacelle d'environ deux mètres.

Cette réduction au $\frac{1}{8}$ attaque l'arbre creux qui supporte l'hélice et passe par l'extrémité arrière de la nacelle.

L'hélice, très bien construite, a un diamètre de 7 m 50 et un pas de 6 m. Elle doit tourner à environ 120 tours, d'après ce que nous a dit obligeamment M. V. Tatin, qui en a calculé minutieusement les détails. Les ailes de cette hélice sont légèrement obliques en arrière par rapport à son axe : il y a à ce sujet un peu de ressemblance

avec celle du dirigeable de Dupuy-de-Lôme, qui aussi était exposée au Grand Palais, en même temps que le ballon la *Ville de Paris*.

La nacelle est suspendue au ballon par des fils d'acier (cordes à piano) analogues à ceux de M. Santos-Dumont : deux planches cintrées épousant la forme du ballon sont fixées après l'étoffe suivant une courbe qui contient tous les points de tangence de la nacelle au ballon, et ces suspentes ont été placées à des distances telles qu'elles sont parallèles entre elles : ce dispositif adopté par M. Tatin permet aux fils d'aciers de travailler également à la traction. Lors d'une déviation longitudinale la répartition des efforts aura lieu sur toutes les suspentes, et il n'y aura pas de grandes différences de traction sur chaque fil comme c'est arrivé à M. Santos lors de ses essais à Monaco.

On se souvient en effet que les fils d'acier, trop distancés, travaillant inégalement, se sont rompus et ont provoqué du bain inattendu dans la baie de Monaco.

La *Ville de Paris* ressemble d'ailleurs un peu à *La France* de 1884. La nacelle a sensiblement la même forme, sauf l'avant et l'arrière qui forment pointe et qui formaient une arète tranchante verticale au dirigeable de Meudon.

Cette nacelle sera bien enveloppée de toile lisse dans toute sa longueur, afin de diminuer les résistances à l'avancement. Le gouvernail est placé à l'arrière au-dessus de l'hélice et se manœuvre facilement de la nacelle.

Le couple de rappel est assez grand (peut-être aurait-on pu le diminuer ce qui à notre avis semblerait préférable), et l'hélice a été placée à l'arrière. A ce sujet M. Tatin a sa théorie qui a reçu application, puisque tous les dirigeables français sauf *La France* avaient leur propulseur à l'arrière ; nous aurons sans doute dans peu de temps la consécration de cet emplacement.

M. V. Tatin a d'ailleurs fait paraître dans l'*Aérophile*

de mars 1901, une étude sur les aéronats, dans laquelle il développe ses idées et ses vues.

« Si l'hélice est placée à l'arrière, dit-il, on pourra considérer la poussée comme se faisant au moyen d'un arbre assez long pour atteindre l'avant, point ou serait sa butée : ce raisonnement paraît sans réplique ».

« A la vérité l'hélice pourrait être aussi bien à l'avant qu'à l'arrière sans que le résultat final soit sensiblement modifié. Mais placée à l'arrière, son aspiration ne sera nullement gênée par le corps de la nacelle placée devant, vu la faible vitesse des filets d'air en ce point ».

Enfin l'ingénieur qui a une expérience acquise, conclut que la place que doit rationellement occuper l'hélice est à l'arrière, comme dans les bateaux.

La vitesse calculée pour la *Ville de Paris* est de 40km. à l'heure en air calme, et la formule prise a été celle-ci :

$$V = \sqrt[3]{\frac{T 2g}{\Delta (AK + SK_1 + \ldots)}}$$

dans laquelle T représente le travail qui reste disponible pour la propulsion, déduction faite des pertes dues à la rotation et au frottement de l'hélice, plus celle beaucoup plus importante due au recul,

g, est l'accélération due à la pesanteur ; 9,81

Δ est la densité du fluide représenté par le poids d'un mètre cube de ce fluide,

A est la surface de projection totale suivant la direction du mouvement ;

S la surface de l'enveloppe en M^2

K et K_1 sont des coefficients variables suivant la forme du ballon (trouvés par expérience).

Le travail T est donné par la formule :

$$T = \frac{AK + A_1K_1 + A_2K_2 + \ldots) \Delta V^3}{2g.}$$

Le dirigeable de M. Deutsh, dont les essais doivent

avoir lieu prochainement pourra donc, d'après son constructeur, atteindre une vitesse moyenne de 10 m. par seconde et même plus, il sera monté par trois personnes.

Que des succès bien mérités, couronnent cette œuvre, nous y applaudirons de grand cœur.

Dirigeable de M. de Bradsky.

M. de Bradsky a fait construire ces temps derniers, au Parc aérostatique de Vaugirard (ateliers Lachambre), un dirigeable de son invention.

Ce dirigeable, dont le propriétaire, avec son amabilité habituelle, nous a montré tous les détails, ressemble beaucoup à celui de M. Santos-Dumont dans son ensemble : il mesure 34 mètres de longueur et 6 mètres de diamètre maximum. Il est presque cylindrique sur 22 mètres, l'avant est terminé par un cône de 8 mètres et l'arrière par un cône de 4 mètres. Le cube est d'environ 700 mètres.

La poutre armée qui a 17 mètres de longueur est entièrement en tube d'acier ; elle porte une nacelle d'environ 5 mètres dans laquelle les aéronautes en se déplaçant peuvent faire varier le centre de gravité du système. Son poids est de 130 kil., y compris les arbres de transmission.

Un moteur de 16 chx type Buchet à 4 cylindres et à circulation d'eau actionne deux hélices : la propulsive dont le diamètre est de 4 m. et qui doit tourner à 200 tours, et une hélice sustentatrice, montée en dessous de la nacelle, dont le diamètre est 2 m. 50. Cette hélice doit assurer l'équilibre vertical du ballon.

Un gouvernail de 4 m^2 500 à axe vertical, monté à l'arrière doit assurer la direction.

Un peu en dessous de l'équateur du ballon, sont fixés des plans destinés, concurremment avec l'hélice sustentatrice, à équilibrer le dirigeable.

Deux personnes peuvent prendre place dans la nacelle.

Les essais de ce dirigeable doivent avoir lieu très prochainement : nous leur souhaitons un franc succès.

Que l'inventeur nous permette quelques légères critiques sur la nacelle : les tubes d'acier sont à notre avis un peu faibles de diamètre et d'épaisseur, et par suite de la rigidité qui caractérise l'emploi de ces tubes, nous ne croyons pas qu'ils soient à recommander pour ces genres de travaux : les constructeurs de voiturettes automobiles savent combien il est difficile de construire des châssis très réguliers, par suite des brasures inévitables, il se produit des gauchissements en même temps temps que la résistance est beaucoup diminuée aux endroits qui ont subi l'action du feu.

Projets de M. L. Godard

S'inspirant des travaux de son collaborateur et maître, G. Yon, M. Louis Godard (1) avait, en 1896, préparé un projet d'un torpilleur aérien de 4.800 mètres cubes, dont la fig. 95 donne une idée.

Comme on le voit, l'hélice avait son axe ramenée le plus près possible du centre du ballon, elle était commandée par une machine à vapeur de 50 chevaux.

La difficulté de condensation de la vapeur étant le point le plus délicat, aucune suite ne fut donnée à ce projet.

Mais une nouvelle étude d'un dirigeable de 3.000 mètres, faite en collaboration avec le lieutenant-colonel de Altamira, de l'armée mexicaine, vient d'être terminée et nous espérons, étant donné les idées précises et les judicieuses observations que renferme le projet, voir couronnés de succès les travaux de ces aéronautes.

(1) Fils de Louis Godard père, bien connu ainsi que son frère Eugène, pour leur grand nombre d'ascensions depuis 1847 jusqu'à leur mort. Toute la famille Godard s'est consacrée à l'aérostation.

Ce dirigeable, représenté par la fig. 96, aura 55 mètres de longueur et 11 mètres de diamètre maximum, il est

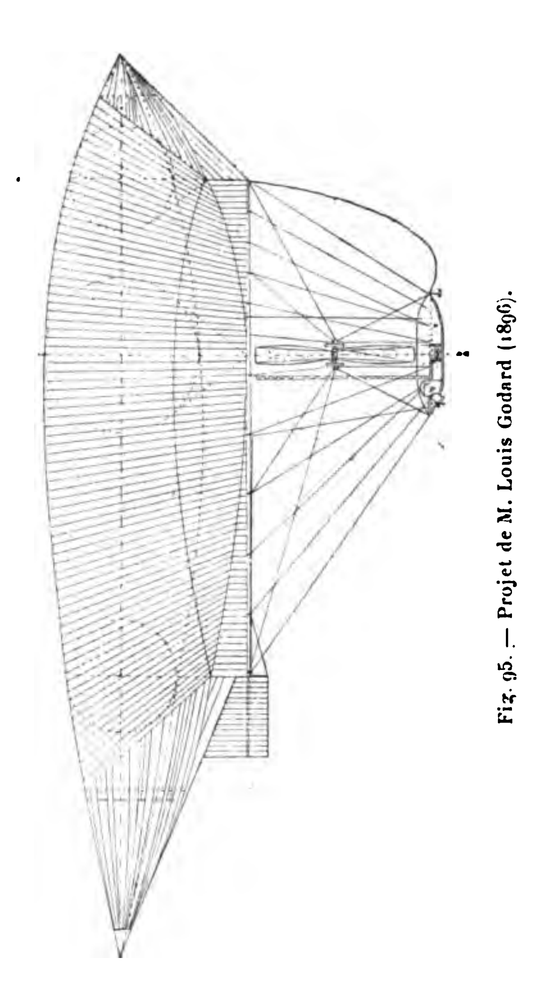


Fig. 95. — Projet de M. Louis Godard (1896).

dissymétrique et cette fois le gros bout est à l'arrière ; le maître-couple étant situé à environ $\frac{2}{3}$ de la longueur à partir de l'avant.

Le filet est remplacé par une chemise de soie et les suspentes par des fils d'acier. La partie inférieure de la chemise du ballon vient se réunir à la perche servant de quille-carène. Cette perche, outre la rigidité qu'elle donne à l'aérostat, sert de plus à en éviter les déformations et à attacher les suspensions qui relient le tout à la nacelle.

A l'extrémité arrière de cette perche se trouve le gouvernail logé dans un cadre en aluminium et manœuvré avec drosse d'acier.

La nacelle a une longueur de 22 mètres et une largeur de 1 m. 30, elle porte deux moteurs à essence de 50 chevaux effectifs d'un poids d'environ 4 kg. 500 par cheval, auquel il convient d'ajouter le poids des réservoirs, radiateurs, etc.

Chacun de ces moteurs fait fonctionner une hélice située à l'avant et à l'arrière de la nacelle; celui d'avant a en outre à commander le ventilateur destiné au ballonnet conpensateur.

Les hélices ont un grand diamètre : 11 mètres, et tournent à 80 tours par minute.

L'impossibilité matérielle de trouver actuellement un moteur de 100 chevaux très léger et donnant de bons résultats, a conduit les inventeurs à employer deux moteurs à essence de 50 chevaux et d'abandonner momentanément l'idée d'une seule hélice.

Voici d'ailleurs quelques chiffres sur ce dirigeable destiné de préférence à la défense et à la surveillance des places fortes menacées d'investissement :

Longueur totale du ballon (avant 33 m., arrière 22 m.).	55 m.
Diamètre	11 m.
Hauteur.	14 m.
Section au maître couple (95 m. + 12 o/o partie triangle)	106 m. 43
Surface totale.	1.435 m.
Cube.	3.104 m.

Force ascentionnelle	3.400	k.
Vitesse en air calme, à l'heure . . .	45	km.
Moteur (deux moteurs de 50 chevaux).	100	chx.

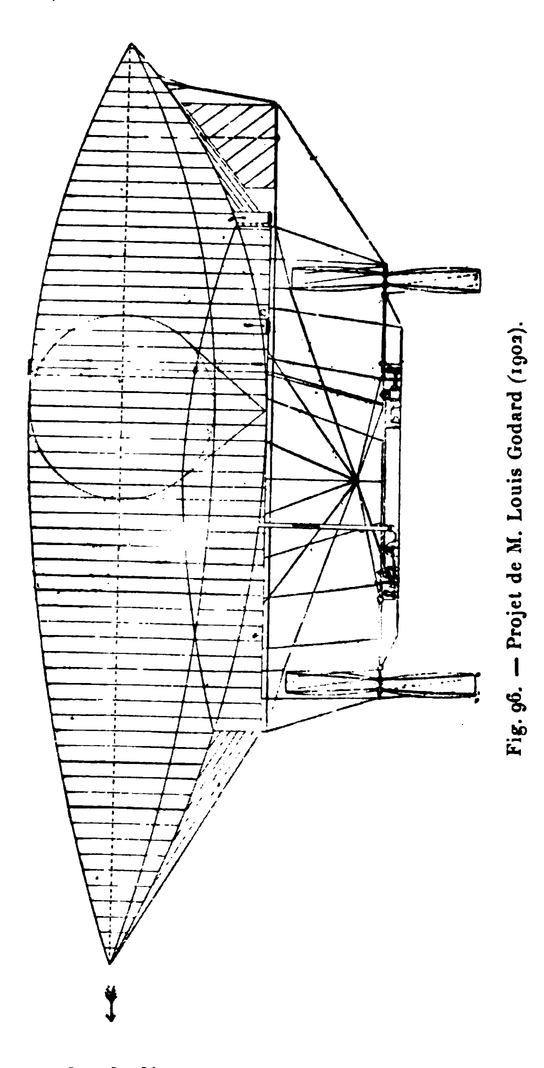


Fig. 96. — Projet de M. Louis Godard (1902).

Diamètre des hélices.	11	m.
Pas des hélices	11	m.

Recul	20 o/o
Fraction à l'extrémité	$\frac{1}{15}$
Fraction au centre	$\frac{1}{10}$
Nombre de tours par minute	80 .
Vitesse à la circonférence à ce nombre de tours	46 m. 076

Ce navire aérien, conçu d'après les études et projets de G. Yon, en 1886, mais modifié dans bien des détails, a sa place toute marquée dans une guerre moderne grâce au champ, pour ainsi dire illimité de son rayon d'action : sans souhaiter le voir rendre des services comme dévastateur, nous aurons plaisir à le voir naviguer dans les airs sans chercher à harceler l'ennemi.

Projet F. L'Hoste

M. Frédéric L'Hoste, dont le nom est bien connu comme aéronaute, décrit dans l'*Aérophile*, d'octobre 1901, un projet de dirigeable à *corps rigide* et *à pneu aérien*.

Le principe de ce ballon rigide, à enveloppe unique est de rejeter automatiquement l'air par ses ballonnets, au fur et à mesure que se produisent les phénomènes de dilation ou de condensation : la masse gazeuse ne peut jamais quitter une pointe pour se diriger vers l'autre dans un mouvement de tangage.

La construction de cet aéronat, dont la fig. 97 en donne une idée, ressemble légèrement à ceux déjà construits : trois cercles ayant chacun un anneau central maintiennent un axe longitudinal qui travaille à la compression, c'est aux extrémités de cet axe que s'exerce, par un rappel élastique, la traction nécessaire pour obtenir la rigidité de l'ensemble, et cela avec un grand coefficient de sécurité.

Le pneu aérien P, cousu sur le cône avant, est représenté par la partie hachurée qui est remplie d'air, tout cet avant permet de résister aux pressions déterminées par la vitesse.

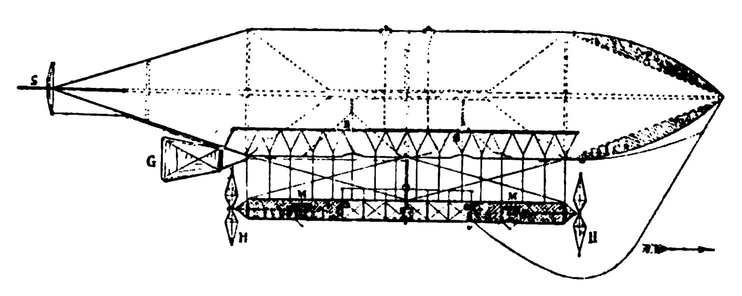


Fig. 97. — Projet de M. F. L'Hoste.

Les ballonnets BB communiquent librement avec l'air extérieur ; deux cordes montées sur des poulies à gorge permettent d'en régler le volume, d'éviter les fluctuations et au besoin de donner une faible pression à tout l'ensemble.

Les deux nacelles sont reliées par une cloison longitudinale surmontées d'une passerelle. Chacune des nacelles porte une hélice, d'un système spécial et à force centrifuge. Ces hélices sont actionnées par deux moteurs à essence de 30 chevaux chacun.

Cet aéronat est transportable : il peut être dégonflé en ramenant, à l'inverse du gonflement, l'étoffe et les cercles au centre. Enfin, divers agrès complète l'ensemble.

M. L'Hoste, qui n'est pas un nouveau en Aéronautique, estime qu'il lui serait possible de mener à bien la réalisation de son projet ; nous souhaitons de tout cœur qu'un Mécène généreux lui vienne en aide et contribue à la mise au point de ce dirigeable.

Projets divers

Très nombreux sont encore les projets méritant d'être signalés, et dont la mise en exécution d'un certain nombre est imminente.

M. Girardot a, paraît-il, commencé un dirigeable de son invention, dont le propulseur doit être mû par un moteur Charron, Girardot et Voigt de 60 chevaux.

N'ayant pu avoir aucun renseignement technique précis sur ce navire aérien, nous ne pouvons rien en dire : nous pensons toutefois que l'emballement porte à croire à des choses qui sont encore loin d'exister.

Citons aussi, en voie de construction, les dirigeables de MM. Lebaudy, Boisset, Bourgoin, etc., etc.

Bien d'autres personnes, ont étudié des dirigeables, suivant leurs idées, mais de la conception à la réalisation il y a loin : bon nombre de projets (la plupart même) méritent peu d'attention et ne seront jamais exécutés. Quand bien même ils le seraient, pour qu'ils aient une certaine valeur, il faudrait examiner si les résultats obtenus ont fait faire un progrès réel à la science : la plupart des inventeurs ne se basant presque jamais sur des calculs et ne s'occupant pas de rechercher ce qui a pu être fait par leurs devanciers.

Projet de l'auteur

Si l'auteur s'est permis quelques critiques sur certains projets ou sur les résultats des diverses tentatives, c'est qu'il s'est occupé de la question non-seulement au point de vue théorique, mais aussi au point de vue de la construction — pratiquement réalisable — du ballon dirigeable.

En effet, en collaboration avec deux personnes s'occu-

pant d'aérostation, il avait commencé les études d'un dirigeable destiné à un riche sportsmen bien connu dans le monde de l'automobilisme.

Par suite de certaines circonstances, les études furent arrêtées brusquement, il y a peu de temps, mais l'auteur seul n'en continua pas moins ses recherches et acheva entièrement le projet dont il va donner une succincte description.

La fig. 98 représente le ballon, dont le cube est de 1600 mètres environ ; la longueur 45 mètres, correspond à un allongement de 4,7, le diamètre maximum étant 9 m. 50.

Le maître-couple, placé au $\frac{1}{3}$ de la longueur à partir

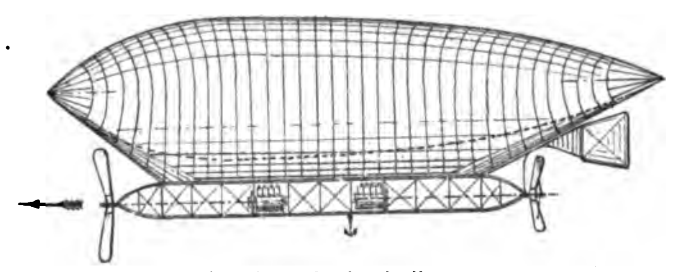


Fig. 98. — Projet de l'auteur.

de la pointe avant, détermine une dissymétrie nécessaire au maintien de la bonne direction et de la stabilité.

A l'intérieur, un certain nombre de cloisons permettent d'avoir une pression à peu près la même dans toute la longueur, et toute la partie inférieure forme le ballonnet compensateur dont le cube, assez élevé est égal au $\frac{1}{6}$ du cube du ballon, soit 266 mètres cubes.

La nacelle, assez longue de forme trapézoïdale est fixée directement à deux longerons formant cadre inférieur, ces longerons sont reliés directement à la chemise dont ils font partie. Pas de filet, les suspen-

tes et les balancines sont égalcment supprimées. Cette disposition permet la libre dilatation du ballon sans produire des plis à l'étoffe.

Le système d'attache de la nacelle (ainsi que la forme de l'avant) a l'avantage de supprimer du poids inutile et de réduire de beaucoup les résistances à l'avancement, qui dans le ballon de Dupuy-de-Lôme, et d'après les calculs de l'éminent ingénieur, atteignaient les $\frac{2}{3}$ de la résistance totale. De plus, le couple stabilisateur, réduit à son minimum, est très suffisant et contribue à assurer la stabilité de route.

Cette nacelle, entièrement enveloppée de soie très lisse, sauf en son milieu, à l'endroit où se placent les aéronautes (1), est construite en sapin et en frêne léger; des entretoises en cornières d'acier, très minces, et en tubes sans soudure lui donnent une très grande rigidité sous un poids relativement faible.

Deux hélices sont destinées à la propulsion, celle d'avant, d'un diamètre de 8 mètres et tournant à 80 tours est actionnée par un moteur à pétrole très léger de 40 chevaux; celle d'arrière à la fois propulsive et compensatrice doit assurer la bonne marche et la bonne tenue du ballon et augmenter la stabilité.

Elle a 4 mètres de diamètre et tourne à 120 tours, elle est actionnée par un moteur de 20 chevaux.

Un autre petit moteur à pétrole de 1 ch. 1/4 commande un ventilateur destiné au ballonnet. Le débit de cet appareil est beaucoup plus élevé qu'il est nécessaire en temps normal, mais l'auteur tient à conserver autant que possible une invariabilité de formes, condition indispensable à la vitesse et à la stabilité.

Enfin deux plans (non figurés sur le dessin) mais qui

(1) Les aéronautes, au nombre de trois, doivent, le premier s'occuper des moteurs. le second du ballonnet et des soupapes et le troisième peut diriger les mouvements et suivre les résultats des appareils enregistreurs.

doivent être placés de chaque côté et près du centre de gravité, ont pour but d'amoindrir le tangage, et même de le supprimer.

Une foule d'autres détails non signalés volontairement ont aussi le même but, en même temps qu'ils sont utiles dans bien des circonstances.

D'ailleurs, l'auteur s'est inspiré de tous les travaux des devanciers, il a cherché de même à appliquer dans la mesure du possible, tout ce que la science aérostatique et la navigation aérienne ont produit pendant ces dernières années.

Telles sont les principales caractéristiques de ce projet qui — à part de très légers détails — n'attend plus qu'un généreux amateur de la nouvelle locomotion qui veuille bien s'y intéresser.

CONCLUSION

Arrivés aux termes de cette étude jetons un coup d'œil d'ensemble sur le chemin parcouru par la direction aérienne.

Jusqu'à Giffard, on peut dire que tout ce qui a été expérimenté a été pratiquement infructueux.

Les tentatives de ses imitateurs n'ont pas eu de succès jusqu'en 1884, époque à laquelle nos savants officiers de Meudon ont abordé de plein pied le problème et ont montré ce qu'il était possible de faire avec les moteurs existants.

Par suite des rapides et grands perfectionnements des moteurs à pétrole, M. Santos-Dumont n'a pas eu de peine à nous faire voir ce que l'on pouvait attendre du moteur à mélange tonnant. Il a déterminé l'engouement actuel de l'aéromotion.

Le tableau ci-dessous montre les étapes successives de la question en comparant ensemble les résultats des tentatives faites jusqu'à ce jour en France.

Noms.	Vitesse par sec.	Volume en M³	Allongement	Maître couple	Chevaux sur l'arbre	Force par 100 m² du maître couple
						chx
Giffard (1852)........	3 m.	2.500	3.6	113 m.	3	2.65
Giffard (1855)........	4	3.200	7	78.5	3	3.82
Dupuy-de-Lôme (1872)	2.80	3.600	2.43	172	0.65	0.38
Tissandier (1884).....	4	1.060	3.04	66.5	1.5	2.25
Renard et Krebs (1884)	6	1.861	6	55.4	9	16.25
Santos Dumont (1901)	7.5 (pas exact)	622	5.54	28.3	16	56.5

Plusieurs dirigeables vont être expérimentés très prochainement : ils seront probablement suivis d'autres, de mieux en mieux construits.

Les moteurs de plus en plus légers et dont la force sera plus grande permettront de leur donner des vitesses déjà remarquables.

Mais qu'arrivera-t-il à mesure que croîtra la vitesse ? Pour faire équilibre à la pression exercée à l'avant du ballon et maintenir celui-ci constamment gonflé — condition nécessaire — il faudra augmenter progressivement la pression intérieure et donner à l'étoffe une résistance de plus en plus forte. Il en résulte qu'à de certaines vitesses, déjà grandes, c'est vrai, 20 mètres par exemple (72 kilomètres à l'heure), le ballon, s'il est bien établi pour résister, deviendra trop pesant. Alors la solution par le moins lourd que l'air s'éliminera d'elle-même.

D'autre part, la navigation aérienne par les dirigeables restera toujours subordonnée à la question de construction de ballons de grande taille cubant plusieurs milliers de mètres cubes. Plus l'aérostat sera volumineux, plus il sera puissant ; plus sa vitesse et la durée des voyages qu'il pourra exécuter seront grandes.

Il est vrai que la vitesse augmentant, la sustentation perd une partie de son importance, la résistance par des grandes vitesses donnant lieu à des composantes de soulèvement capables de suppléer à l'insuffisance de plus en plus marquée de la force ascensionnelle.

On en arrive presque à cette conclusion que les appareils plus lourds que l'air, dont nous n'avons pas voulu parler dans ce livre — l'aviation étant à part — fourniront la solution du problème.

Rien ne prouve d'ailleurs que la combinaison du plus lourd et du plus léger que l'air ne puisse pas donner des résultats et que l'on ne passera pas des dirigeables aux

ballons planeurs ou ballons aéroplanes avant d'arriver aux aéroplanes.

En tous les cas, avant d'en arriver à ces résultats, les dirigeables auront probablement rendus quelques services.

Tout fait supposer, en effet, que notre siècle, dont le précédent possède les plus grandes gloires d'avoir réalisé la locomotion rapide sur terre et sur eau, verra la locomotion aérienne atteindre les vitesses de ses deux aînées.

Assurément, le dirigeable ne fera jamais les vertigineux parcours que nous annoncent certains aviateurs ; mais combien d'années s'écoulera-t-il avant qu'un appareil volant réussisse à quitter le sol ? (1).

Depuis longtemps un certain nombre de dirigeables auront sillonné l'espace.

C'est donc par des paroles d'encouragement adressées à tous les chercheurs qui creusent sans cesse les questions précédemment exposées que nous nous faisons un devoir et un plaisir de terminer cet ouvrage. Qu'ils poursuivent leurs recherches ! La sympathie universelle ne leur fera jamais défaut...

C'est que l'essor d'un dirigeable ou d'un volateur saisira toujours, et cela par de multiples raisons, l'esprit du plus savant comme du plus ignorant.

Sachons donc nous contenter des résultats acquis ; constatons avec un légitime orgueil qu'ils ont été poursuivis et obtenus dans le pays même des Montgolfier.

Les voyages dans l'atmosphère, qui paraissent avoir pour but les mondes inconnus qui brillent sur nos têtes et peuplent l'immensité, auront toujours l'attrait mystérieux d'un symbole et d'une protestation contre la tyran-

(1) Malgré les données de certains adeptes de l'aviation, nous ne verrons sans doute jamais un aéroplane accomplir des trajets importants : tous les calculs, les études et les travaux le prouvent surabondamment.

nie de la pesanteur, qui semble river à jamais l'humanité à la surface de la planète.

Pourquoi ne disputerions-nous pas l'espace à l'aigle puissant et à la rapide hirondelle?...

ERRATA

Page 102, au renvoi au bas de la page, *lire* page 183.

Page 133, *lire* T = 8,017 n² d³ *au lieu de* L =.

Page 138, 8e ligne *lire*, le tableau suivant (page 140) *au lieu de* page 139.

Page 142, tableau, 3e colonne, *lire* $\frac{E}{K}$ *au lieu de* $\frac{F}{K}$

Page 171, au renvoi (2) au bas de la page, *lire* « ballonnet compensateur ».

Page 240, 15e ligne, *lire* longueur *au lieu de* longeur.

Page 260, 20e ligne, *lire* 3.142 mètres cubes.

Page 266, 29e ligne, *lire* « lequel correspondrait » *au lieu de* lequel comme cette application (30 et 31e ligne).

TABLE DES MATIÈRES

DEUXIÈME PARTIE

TROISIÈME PARTIE

Projets et essais tentés jusqu'à ce jour. Projets nouveaux

CATALOGUE DES LIVRES

SUR

LA NAVIGATION ET L'ÉLECTRICITÉ

PUBLIÉS PAR

La Librairie Polytechnique Ch. BÉRANGER

Successeur de BAUDRY & Cie

15, rue des Saints-Pères, à PARIS
21, rue de la Régence, à LIÈGE

Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.

NAVIGATION

Traité d'aérostation.

Traité d'aérostation théorique et pratique. Construction des ballons et des engins accessoires, appareils à gaz hydrogène, manœuvres à terre et en l'air, ascensions captives, appareils d'aérostation militaire, navigation aérienne avec aréoplanes. Guide complet à l'usage des sociétés d'aérostation françaises et étrangères, des aéronautes professionnels, des aérostiers militaires, des élèves, des amateurs et de toutes les personnes s'intéressant à l'aréostation et à la navigation aérienne, par Henry de Graffigny. 1 volume in-18 avec 77 figures dans le texte. . . . 4 fr.

Navigation aérienne.

Recherches sur la navigation aérienne. Essai de comparaison entre les principaux systèmes, par Duroy de Bruignac. 1 brochure in-8o. . 2 fr.

Aérostation.

Le ballon captif de Giffard de l'Exposition universelle de 1878 avec 1 planche. Ce mémoire a paru dans la livraison de décembre 1878 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison . . . . . . 2 fr.

Architecture et construction du yacht.

Architecture et construction du yacht, par Louis Moissenet, ingénieur au corps du Génie maritime, membre fondateur de l'Union des yachts français. 1 volume in-18, avec de nombreuses figures dans le texte et 16 planches, relié . . . . 10 fr.

Voilure, navigation et manœuvre du yacht.

Voilure, navigation et manœuvre du yacht, par Louis Moissenet, ingénieur au corps du Génie maritime, membre fondateur de l'Union des yachts français. 1 volume in-18, avec 28 planches dans le texte comprenant 149 figures, relié . . . . 15 fr.

Théorie du yacht.

Théorie du yacht, par Louis Moissenet, ingénieur au corps du Génie maritime, ex-membre fondateur de l'Union des yachts français. 1 volume in-18, avec 158 figures dans le texte . . . . 15 fr.

Navigation sous-marine.

La navigation sous-marine. Généralités et historique. Théorie du sous-marin. Bateaux sous-marins modernes. La Guerre maritime, par Maurice Gaget. 1 volume in-12, contenant 131 figures dans le texte. Relié. 10 fr.

Navigation sous-marine.

Navigation sous-marine. Historique des bateaux sous-marins et mécanismes nécessaires à leur marche. — Variétés électriques, par A. Dessaint. 1 brochure gr. in-8°, avec 7 planches. . . . . . 2 fr. 50

ÉLECTRICITÉ

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Système d'unités absolues. Electrostatique. Electrocinétique. Magnétisme. Electromagnétisme. Application de l'Electromagnétisme. Instruments de mesure électrique. Méthodes générales de mesure électrique. Méthodes de mesures spéciales aux lignes électriques. Détermination des unités électriques. Détermination de l'ohm. Cours professé à l'Ecole supérieure de télégraphie, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes, examinateur d'entrée à l'Ecole polytechnique. 2 volumes in-8° avec figures dans le texte. . . 25 fr.

Théorie de l'électricité.

Théorie de l'électricité. Exposé des phénomènes électriques et magnétiques fondé uniquement sur l'expérience et le raisonnement, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes, examinateur d'admission à l'Ecole Polytechnique. 1 vol. gr. in-8°, avec 74 fig. dans le texte, relié . 20 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par Félix Lucas, ingénieur en chef des ponts et chaussées, administrateur des chemins de fer de l'Etat. 1 vol. gr. in-8° avec 278 fig. dans le texte. 15 fr.

Electricité industrielle.

Traité d'électricité industrielle, théorique et pratique, par Marcel Deprez, membre de l'Institut, professeur d'électricité industrielle au Conservatoire national des arts et métiers, professeur suppléant au Collège de France. 2 volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte, paraissant en 4 fascicules. Prix de l'ouvrage complet . 48 fr.
Chaque fascicule se vend séparément . . . . 12 fr.

Electricité industrielle.

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures ; piles et machines électriques ; éclairage électrique ; transmission électrique de l'énergie ; galvanoplastie et électro-métallurgie ; téléphonie par E. Cadiat et L. Dubost. 6e édition. 1 volume grand in-8°, avec 291 gravures dans le texte, relié . . . . 16 fr. 50

Manuel pratique de l'électricien.

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques. Production de l'électricité. Transformation des courants électriques. Eclairage électrique. Transmission électrique

de l'énergie. Sonneries électriques. Signaux. Téléphones. Inflammation des torpilles et des mines. Galvanoplastie, par E. Cadiat. 4e édition. 1 volume in-12 avec 243 figures dans le texte, relié. . . . 7 fr. 50

Manuel pratique d'électricité industrielle.

Manuel pratique d'électricité industrielle. Théorie et applications à l'usage des contre-maîtres, monteurs, ouvriers électriciens et mécaniciens s'occupant d'électricité, par Ch. Gruet, ingénieur électricien. 1 vol. in-18 jésus contenant 259 figures dessinées par l'auteur. Relié. 5 fr.

Aide-mémoire de poche de l'électricien.

Aide-mémoire de poche de l'électricien. Unités. Machines électriques. Machines à courants continus et à courants alternatifs. Self-induction. Capacités. Transformateurs. Conducteurs d'énergie. Canalisations électriques. Moteurs électriques. Eclairage électrique. Distribution de l'énergie. Traction électrique. Electro-métallurgie. Sonneries. Téléphones. Prescriptions administratives ; guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs électriciens, etc., par Ph. Picard et A. David, ingénieurs des arts et manufactures. 2e édition par A. David. Un petit vol. format oblong de 0m,125 × 0m,08, relié en maroquin, tranches dorées . . . . 6 fr. 50

Contrôle des installations électriques.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité. Le courant électrique, production et distribution de l'énergie, mesures, effets dangereux des courants, contrôle à l'usine, contrôle du réseau, des installations intérieures et des installations spéciales, résultats d'exploitation, règlements français et étrangers, par A. Monmerqué, ingénieur en chef des ponts et chaussées, ancien ingénieur des services de la première section des travaux de Paris et du secteur municipal d'électricité, précédé d'une préface de M. Hippolyte Fontaine, président honoraire de la chambre syndicale des électriciens. 1 volume in-8o, avec de nombreuses figures dans le texte, relié.

Epuisé. Une nouvelle édition paraitra à la fin de 1902. .

Canalisations électriques.

Les canalisations électriques, 1re partie. Fonctionnement et calcul des canalisations à courant continu, par Teichmuller, directeur de l'Institut Electrotechnique de Karlsruhe, traduit de l'allemand avec autorisation de l'auteur, par P. Breuil, licencié ès sciences physiques, ingénieur électricien. 1 volume grand in-8 . . . . 15 fr.

Canalisations électriques.

Essais et vérifications des canalisations électriques en fabrication, à la pose et en exploitation par G. Charpentier, ingénieur-électricien à la Société alsacienne de construction mécanique de Belfort. 1 volume grand in-8e avec 265 figures dans le texte . . . . 15 fr.

Contrôle des réseaux électriques.

Nouvelle méthode générale de contrôle de l'isolement et de recherche des défauts sur les réseaux électriques pendant le service, par P. Charpentier, ingénieur-électricien. 1 brochure in-8o avec figures dans le texte . . . . 2 fr. 50

L'Electricité dans l'industrie.

L'électricité dans l'industrie. Rapport présenté à l'Association des anciens élèves des écoles supérieures de commerce et d'industrie de Rouen, par Raoul Lemoine, ingénieur 1 volume in-8o avec gravures dans le texte . . . . 6 fr.

L'Année électrique.

L'année électrique, électrothérapique et radiographique. Revue annuelle des progrès électriques. Electro-chimie, éclairage, chauffage électrique, télégraphie, téléphonie, télégraphie et téléphonie sans fil, traction électrique. L'électricité à la guerre, etc., électrothérapie, radiographie, par FOVEAU DE COURMELLES, médecin-électricien, lauréat de l'Académie de médecine. 1 volume in-18, 1900-1901. Chaque année. 3 fr. 50

L'Année électrique.

L'année électrique, ou Exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de l'électricité à l'industrie et aux arts, par PH. DELAHAYE. 8 volumes in-12 (1885 à 1892) : Prix de chaque volume . . . . 3 fr. 50

Electrolyse.

Electrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité, par HIPPOLYTE FONTAINE. 2e édition. 1 volume grand in 8°, avec gravures dans le texte, relié. . . . . . . 15 fr.

Electrolyse.

Etude sur le raffinage électrolytique du cuivre noir, par HUGON. 1 brochure grand in-8°. . . . . 1 fr. 50

Electro-Chimie.

Traité théorique et pratique d'électro-chimie. Constantes chimiques, mécaniques et électriques. Systèmes électrolytiques. Lois générales de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Traitement électrolytique des composés chimiques. Electrolyse appliquée à la chimie organique. Réaction chimique de l'étincelle et de l'effluve électriques, par ADOLPHE MINET, directeur du journal l'*Electro-Chimie*. 1 volume in-8°, contenant 206 figures dans le texte. Relié . . . . 18 fr.

Electro-Métallurgie.

Traité théorique et pratique d'électro-métallurgie. Galvanoplastie, analyses électrolytiques, électro-métallurgie par voie humide, méthodes électrolytiques, calcul des conducteurs, chauffage électrique, l'arc voltaïque et charbons électriques, travail électrique des métaux, les fours électriques ; électrométallurgie par voie sèche, méthodes électrolytiques et électrothermiques, électro-thermie, par ADOLPHE MINET, officier de l'instruction publique, fondateur de l'usine d'aluminium de *Saint-Michel-de-Maurienne*, directeur du journal l'*Electro-Chimie*, 1 vol. grand in-8°, contenant 205 figures dans le texte. Relié . 20 fr.

Machines dynamo.

Les machines dynamo-électriques à courant continu et à courants alternatifs par GISBERT KAPP traduit de l'allemand par P. LECLER, ingénieur des arts et manufactures. 1 vol. in-8° avec 200 figures dans le texte. Relié . . . . 16 fr.

Machines dynamo-électriques.

Des enroulements et de la construction des induits des machines dynamo-électriques à courants continus. Enroulements fermés, en anneau, en tambour, ouverts. Exécution des enroulements, construction des induits, par E. ARNOLD, professeur supérieur et directeur de l'Institut électro-technique à l'école supérieure technique grand-ducale de Calsruhe. Traduit de l'allemand par BOY DE LA TOUR, ingénieur, chef du service électrique aux ateliers de la compagnie de Fives-Lille à Givors. 1 vol. in-8° avec 418 figures dans le texte et 12 planches. Relié. 20 fr.

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques. par R. V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8° avec 198 figures dans le texte. . . . . 12 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques. Éléments. Principes. Théorie. Induits. Enroulements des induits. Dynamo à courant continu. Dynamos diverses. Alternateurs. Moteurs asynchrones. Transformateurs. Moteurs dynamo. Transmission de l'énergie. Régulateurs. Epreuves de machines. Conduite des dynamos, par Silvanus P. Thompson, traduit par E. Boistel, 3e édition, 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte. Relié. . . . . 30 fr.

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, par Frœlich, traduit de l'allemand par E. Boistel. 1 volume grand in-8°, avec 62 figures dans le texte. 10 fr.

Machines dynamo-électriques.

Dynamo-volant, système Patin (120.000 watts), accouplée sur un moteur Boyer, avec 2 planches. Ce mémoire a paru dans la livraison d'août 1893 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison. 2 fr.

Le groupe électrogène Carels-Kolben à l'Exposition universelle de 1900, avec 2 planches. Livraison d'août 1900 du *Portefeuille des machines*. 2 fr.

Moteurs asynchrones polyphasés.

Méthode pratique pour calculer les moteurs asynchrones polyphasés. Champ tournant, forces électromotrices induites par le champ tournant, coupe électro-magnétique, actions magnétisantes des enroulements, résistance des bagues du court-circuit des induits en cage d'écureuil, diagramme de fonctionnement des moteurs polyphasés. Applications pratiques, par Boy de la Tour, ingénieur. 1 volume in-8° contenant 70 figures dans le texte. . . . . 12 fr. 50

Constructions électro-mécaniques.

Constructions électro-mécaniques; recueil d'exemples de construction et de calculs de machines dynamos et appareils électriques industriels par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par A. O. Dubsky et P. Girault, ingénieurs électriciens. 1 volume in-4°, avec 54 figures dans le texte et 25 planches, relié. . . . . 30 fr.

Eclairage électrique.

Installations d'éclairage électrique. Manuel pratique. Unités, mesures, compteurs industriels, machines dynamos, accumulateurs, transformateurs, lampes électriques, canalisation, conducteurs aériens, conducteurs souterrains. Appareils auxiliaires, système de distribution, coût des installations. Lois et règlements, par E. Piazzoli, ingénieur civil. Traduit de l'italien par G. Cucurullo et E. A. della Santa, ingénieur civil. 1 volume in-8° contenant 264 figures dans le texte et 90 tableaux. Relié . . . . 16 fr.

Eclairage électrique.

Eclairage à l'électricité. Renseignements pratiques, par Hippolyte Fontaine.

Epuisé. Une nouvelle édition est en préparation.

Eclairage électrique.

Eclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par Hippolyte Fontaine. 1 volume in-4° avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte, relié. . . . . 25 fr.

Eclairage électrique.

Manuel pratique d'éclairage électrique pour installations particulières, maisons d'habitation, usines, salles de réunion, etc., par EMILE CAHEN, ingénieur des ateliers de construction des manufactures de l'Etat. 2e édition. 1 vol. in-12 avec de nombreuses figures dans le texte. Prix relié. . . . . 7 fr. 50

Eclairage électrique.

N. B. — Les mémoires ci-dessous ont paru dans le *Portefeuille des machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Locomobile électrique de Gramme destinée à l'éclairage à distance pour la défense des places, avec 1 planche. Livraison de juillet 1878. . . . . 2 fr.

Eclairage électrique de la Gran Plaza de Toros du Bois de Boulogne à Paris, avec 1 planche. Livraisons de mars 1891 . . . . 2 fr.

Usine municipale d'électricité des Halles centrales à Paris, avec 3 planches. Livraisons de juillet et d'août 1891 . . . . 4 fr.

Eclairage électrique de Saint-Pancras, station de Regent's Park, à Londres, avec 1 planche. Livraison de septembre 1892 . . . . . 2 fr.

Eclairage électrique de l'avenue de l'Opéra. Livraison de février 1897. . . . . 2 fr.

L'éclairage électrique des voitures et des fourgons du chemin de fer du Nord. Livraison de mai 1898 . . . . 2 fr.

Utilisation des forces hydrauliques de la Muotta (Suisse) pour l'éclairage électrique des villes de Schwyz et Brunnen, avec 2 planches, livraison de juillet 1899 . . . . 2 fr.

Charbons électriques.

La fabrication des charbons électriques ; cette étude a paru dans les livraisons d'avril et mai 1902 du *Portefeuille des machines*. Prix de ces deux livraisons. . . . . 4 fr.

Eclairage électrique.

Etude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels par GEORGES DUMONT, avec la collaboration de GUSTAVE BAIGNIÈRES. 1 vol. gr. in-8 avec deux planches. . . . . 5 fr.

Eclairage à Paris.

L'éclairage à Paris. Etude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments. les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc. ; usines et stations centrales, canalisations et appareils d'éclairage ; organisation administrative et commerciale, rapports des compagnies avec la ville : traités et conventions ; calcul de l'éclairement des voies publiques : prix de revient, par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées et du service municipal de la ville de Paris. 1 volume grand in-8°, avec 221 figures dans le texte, relié. . . . . 20 fr.

Electricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par FLEEMING JENKIN, professeur à l'Université d'Edimbourg ; traduit de l'anglais par N. DE TÉDESCO. 1 volume in-12, avec 32 gravures. . . . . 2 fr.

Courants polyphasés.

Courants polyphasés et alterno-moteurs. Théorie, construction, mode de fonctionnement et qualités des générateurs et des moteurs à courants alternatifs et polyphasés, transformateurs polyphasés et mesure de la puissance dans les systèmes polyphasés, par SILVANUS P. THOMPSON,

directeur du collège technique de Finsbury, à Londres; traduction par E. Boistel, ingénieur-expert près le tribunal de la Seine. 2e édition. 1 volume in-8 contenant 360 figures dans le texte et 12 planches hors texte et en couleurs. Relié. . . . . 25 fr.

Courants triphasés.

Applications et avantages des machines électriques à courants triphasés. Ce mémoire a paru dans la livraison de décembre 1895 du *Portefeuille des machines*. Prix de la livraison. . . . . 2 fr.

Courants alternatifs.

Eléments du calcul et de la mesure des courants alternatifs par Omer de Bast. Ingénieur, Répétiteur à l'Institut électrotechnique Montefiore Professeur à l'Ecole Industrielle de Liège. 1 volume in-8e contenant 75 figures dans le texte. Relié. . . . . 7 fr. 50

Courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. Blakesley, professeur au Royal Naval College de Greenwich, traduit de la 3e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. Rechniewski. 1 volume in-12 avec figures dans le texte. relié . . . . 7 fr. 50

Transformateurs.

Les transformateurs à courants alternatifs simples et polyphasés. Théorie, construction, applications, par Gisbert Kapp, traduit de l'allemand par A. O. Dubsky et G. Chenet, ingénieurs électriciens. 1 volume in-8o, avec 132 figures dans le texte, relié . . . . 12 fr.

Courant électrique différentiel.

Le courant électrique différentiel, par Emile Mangon. 1 brochure grand in-8o avec figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes les parties de la science électrique, par le Dr Robert Weber, professeur à l'Académie de Neuchâtel. 3e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte. . . . . 6 fr.

Problèmes d'électricité.

Recueil de problèmes d'électricité, par A. Raudot, ingénieur. 1 volume grand in-8o contenant de nombreuses figures dans le texte. Relié. 8 fr.

Installations électriques. Mesures de précaution.

Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaires sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies allemandes d'Assurance contre l'incendie, par le Dr Oscar May, traduit de l'allemand sous la direction de Ph. Delahaye. 1 brochure grand in-8o, avec 13 figures dans le texte. . . . . 1 fr. 50

Transmission de force.

N. B. — Les études suivantes on paru dans le *Portefeuille des machines* et se vendent avec la livraison qui les renferme au prix de 2 fr la livraison.

Transmission de force pour l'électricité appliquée à l'usine de fabrication d'engrais chimiques de P. Linet à Aubervilliers. Livraison de juin 1896. . . . . 2 fr.

Transmission de force par courants diphasés des mines de Sheba (Transvaal), avec une planche. Livraison de décembre 1899 . . . 2 fr.

Transport de la force par l'électricité. Ponts roulants électriques de la Société internationale d'électricité à Liège avec 6 planches. Livraisons de janvier et février 1900 . . . . 4 fr.

Usine électrique de Bercy, pour la production de l'énergie électrique du chemin de fer métropolitain de Paris, avec 2 planches doubles, livraison de mai 1900 . . . . 2 fr.

Sous-station électrique du chemin de fer métropolitain de Paris. à la place l'Etoile, avec 2 planches, livraison de juin 1900 . . . . . . 2 fr.

Utilisation des chutes d'eau à la production d'énergie électrique, avec 2 planches doubles, livraison de juillet 1901. . . . . 2 fr.

Chemin de fer éléctrique.

Chemin de fer électrique des boulevards, à Paris, par CHRÉTIEN 1 brochure in-4° avec gravures. . . . . 2 fr.

Accumulateurs au plomb.

La théorie de l'accumulateur au plomb, par le Dr FR. DOLEZALEK, traduit de l'allemand par CH. LIAGRE. 1 volume in-8° avec 40 figures dans le texte. . . . . 8 fr.

Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par EMILE REYNIER. 1 volume grand in-8° avec 62 gravures dans le texte et un portrait de M. G. Planté. . . . . 6 fr.

Téléphone.

Le Téléphone. Théorie. Induction. Transmetteurs à charbons. Téléphones spéciaux. Lignes téléphoniques. Appareils auxiliaires. Stations terminales. Stations intermédiaires. Bureaux centraux français et étrangers. Tableaux commutateurs. Stations téléphoniques publiques Téléphones multiplex. Application du téléphone au service de la télégraphie. Télégraphie militaire. Applications diverses, par WILLIAM-HENR, PREECE, électricien en chef du *British Post-Office*, et JULLIUS MAIER docteur ès sciences physiques. 1 volume grand in-8° avec 290 gravures dans le texte . . . . 15 fr.

Télégraphie électrique.

Traité de télégraphie électrique. — Production du courant électrique.— Organes de réception. — Premiers appareils. — Appareil Morse. — Appareils accessoires. — Installations des postes. — Propriétés électriques des lignes. — Lois de la propagation du courant. — Essais électriques, recherches des dérangements. — Appareils de translation. de décharge et de compensation. — Description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission. — Etablissement des lignes aériennes, souterraines et sous-marines par H. THOMAS, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8° avec 702 figures dans le texte. Relié . . . . 25 fr.

Télégraphie sous-marine

Traité de télégraphie sous-marine. — Historique. — Composition et fabrication des câbles télégraphiques. — Immersion et réparation des câbles sous-marins. — Essais électriques. — Recherche des défauts. — Transmission des signaux. — Exploitation des lignes sous-marines, par WUNSCHENDORFF, ingénieur des télégraphes. 1 volume grand in-8°, avec 469 gravures dans le texte. . . . . 40 fr.

Tirage des mines par l'électricité.

Le tirage des mines par l'électricité, par PAUL-F. CHALON, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume in-18 jésus, avec 90 figures dans le texte. Prix, relié. . . . . 7 fr. 50

Electricité médicale.

Traité théorique et pratique d'électricité médicale. — Précis d'électricité. — Appareils et instruments électro-médicaux. — Applications thérapeutiques, par FÉLIX LUCAS et ANDRÉ LUCAS. 1 vol. in-18 jésus avec 120 figures dans le texte, relié. . . . . 10 fr.

LAVAL. — IMPRIMERIE PARISIENNE, L. BARNÉOUD & Cie.